



**Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA
Engenharia de Energia**

**BANCADA HÍBRIDA COMBUSTÃO/ENERGIA
ELÉTRICA**

**Autor: Hildoglas Botelho Chaves
Orientador: Rhander Viana
Co-orientador: Pedro Luiz Meneghin**

**Brasília, DF
2017**



HILDOGLAS BOTELHO CHAVES

TÍTULO: BANCADA HÍBRIDA COMBUSTÃO/ENERGIA ELÉTRICA

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Rhander Viana

Co-Orientador: Prof. Pedro Luiz Meneghin

**Brasília, DF
2017**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Chaves, Hildoglas Botelho

Título da Monografia: Bancada híbrida combustão/energia elétrica / Hildoglas Botelho Chaves. Brasília: UnB, 2014. 103 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2017. Orientação: Rhander Viana

1. Bancada híbrida. 2. Gerador eletromagnético. 3. Motor de combustão interna. 4. Torno. 5. Usinagem. I. Viana, Rhander. II. Bancada híbrida combustão/energia elétrica.

CDU Classificação



BANCADA HÍBRIDA COMBUSTÃO/ENERGIA ELÉTRICA

Hildoglas Botelho Chaves

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama – FGA, da Universidade de Brasília.

Prof. Rhander Viana, UnB/ FGA
Orientador

Prof. Pedro Luiz Meneghin
Co-Orientador

Prof. Rudi Henri Van Els, UnB/FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2017

Este trabalho é dedicado a meus amigos,
familiares e a todos que de alguma forma me
apoiaram durante toda a graduação

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por proporcionar força para trilhar essa longa jornada. Agradeço a meus pais, por sempre me ensinarem os valores precisos com amor e paciência, me dando o suporte necessário. Aos meus irmãos, que ao longo desse tempo me motivaram, sempre servindo de exemplo. A minha namorada, pela companhia, paciência e compreensão nos momentos difíceis. Aos meus orientadores, por todos os conhecimentos compartilhados, em especial ao senhor Pedro Luiz Meneghin, pelo sábio auxílio, empenho e dedicação. Aos amigos Henrique e Danilo pelo incentivo e ajuda e por fim, a todos os outros colegas que ajudaram em minha evolução até aqui.

“A educação é nosso passaporte para o futuro,
pois o amanhã pertence as pessoas que se
preparam hoje. ”

Malcolm X

RESUMO

Cada dia mais aumentam as preocupações acerca dos impactos causados pelo homem ao meio ambiente, sendo o setor automotivo um dos responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa atualmente. O interesse em minimizar tais problemas, através do aprimoramento das tecnologias utilizadas, tem impulsionado positivamente este setor, fortalecendo as pesquisas principalmente na área de motores híbridos combustão/elétricos. Este trabalho descreve o projeto, a construção e a operacionalização de uma bancada de testes para instalação de um gerador eletromagnético plano acoplado à um motor de combustão de ciclo Otto, mais precisamente o Enertron dos veículos BR-800, da empresa Gurgel motores, visando a instrumentalização da bancada e análise do comportamento do motor e gerador operando simultaneamente. As peças foram projetadas com o software CATIA V5R19 e posteriormente foram utilizados diversos processos de usinagem em sua produção. Por último o gerador foi acoplado ao motor.

Palavras-chave: Bancada híbrida, Gerador Eletromagnético, Motor de Combustão Interna, Gurgel BR-800

ABSTRACT

More and more worries about man-made impacts on environment are increasing, with the automotive sector being one of the biggest responsible to greenhouse gas emissions currently. The interest in minimizing such problems through the improvement of the technologies used has positively boosted this sector, strengthening researches mainly in the area of hybrid/electric motors. This work describes the design, construction and operation of a test bench for the installation of a flat electromagnetic generator coupled to an Otto Cycle combustion engine, more precisely the Enertron of the BR-800 vehicles of the Gurgel Motors Company, aiming the instrumentation of the bench and analysis of the behavior of the engine and generator simultaneously operating. The parts were designed with the software CATIA V5R19 and later several machining processes were used in its production. Finally the generator was coupled to the motor.

Keywords: Hybrid Bench, Electromagnetic Generator, Internal Combustion Engine, Gurgel BR-800

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Emissões de CO2 equivalente por fonte – Brasil, 2006 (Fonte: Inventário de emissões MCT, 2006).	1
Figura 2. Frota vs desenvolvimento econômico – EUA, Japão, Alemanha e Coreia do Sul (Fonte: Adaptado de Dargay, 2007).	2
Figura 3. Frota vs desenvolvimento econômico – Brasil, China, Índia e Coreia do Sul.....	3
Figura 4. Gurgel Itaipu (Fonte: www.gurgel800.br/gurgel/itaipu , 1974).	4
Figura 5. Ilustração do motor de Lenoir, 1896 (Fonte: Library of Congress, Washington D.C, 1896). 7	
Figura 6. Os 4 tempos do motor de ciclo Otto (Fonte: INJEPRO, 2017).	8
Figura 7. Carro híbrido de Ferdinand Porsche (Fonte: Google imagens, 2017).	9
Figura 8. Toyota prius, 1997 (Fonte: Revista 4 rodas, 1997).....	10
Figura 9. Diagrama de veículo híbrido série (Fonte: Ford Motor Company, 2011).	11
Figura 10. Chevrolet Volt (Fonte: Motor Dream, 2011).	11
Figura 11. Diagrama de veículo híbrido paralelo (Fonte: Ford Motor Company, 2011).	12
Figura 12. Diagrama de veículo híbrido série/paralelo (Fonte: Ford Motor Company, 2012).	13
Figura 13. Dimensões externas do BR 800 (Fonte: Manual de serviços Gurgel BR 800, 1988).	14
Figura 14. Motor Enertron, BR 800 (Fonte: gurgel800.com.br , 1988).	15
Figura 15. Ficha técnica do BR 800 (Fonte: Revista Quatro Rodas, 2016).	16
Figura 16. Ímã de neodímio modelo N52 (Fonte: Magnet4less, 2017).	20
Figura 17. Motor depois da pré-limpeza, parte frontal.	22
Figura 18. Motor depois da pré-limpeza, parte traseira.	23
Figura 19. Ferramentas utilizadas na desmontagem.	23
Figura 20. Elementos externos ao motor.....	25
Figura 21. Componentes internos do motor.	26
Figura 22. Motor após desmontagem.....	26
Figura 23. Passe dado no virabrequim em torno.	27
Figura 24. Passe dado no virabrequim em torno.....	27
Figura 25. Pontos onde haviam falhas na junta.....	28
Figura 26. Primeiro suporte elaborado.....	29
Figura 27. Primeiro suporte elaborado.....	29
Figura 28. CAD do segundo suporte do motor.	30
Figura 29: CAD frontal do segundo suporte do motor.	30
Figura 30. Segundo suporte com motor acoplado, vista traseira.....	30
Figura 31. Segundo suporte com motor acoplado, vista frontal.....	30
Figura 32: CAD do calço.	31
Figura 33: Calço.....	31
Figura 34: CAD do calço do motor de partida.....	31
Figura 35: Calço do motor de partida.	31
Figura 37. Suporte de eixo do motor de partida.....	32
Figura 36. CAD suporte de eixo do motor de partida.	32
Figura 38. Desenho técnico do tanque de combustível.	32
Figura 39. Tanque de combustível fabricado.	33
Figura 40. Desenho técnico da tampa do tanque de combustível.	33
Figura 41: Tampa do tanque de combustível.	33
Figura 42. Bico do tanque de combustível.	34
Figura 43. Suporte do motor, com abertura para encaixe do eixo.....	36

Figura 44. Encaixe do eixo.....	36
Figura 45. Primeiro modelo do parafuso de fixação do encaixe do eixo.	37
Figura 46. Parafuso de fixação do encaixe do eixo.	37
Figura 47. CAD do prato de fixação do toróide.	38
Figura 48. Prato de fixação do toróide.	38
Figura 49. CAD do carretel montado.	39
Figura 50. Carretel de enrolamento do toróide.	39
Figura 51. Processo de enrolamento do toróide.	40
Figura 52. Resina pronta para aplicação.	41
Figura 53. Toróide.....	42
Figura 54. CAD do toróide após ser fresado.	43
Figura 55. Toróide sendo cortado na fresa.	43
Figura 56. Toróide depois de cortado e faceado.	44
Figura 57. CAD do molde do enrolamento.	45
Figura 58. Molde do enrolamento.	45
Figura 59. Bobinas as feitas no molde.	46
Figura 60. Alojamento do rolamento dianteiro.	46
Figura 61. Alojamento do rolamento traseiro.	46
Figura 62. Alojamento do rolamento dianteiro.	47
Figura 63. Tudo de fixação encaixado no alojamento.	48
Figura 64. Flange do conjunto gerador com alojamento do rolamento dianteiro acoplado.	48
Figura 65. Flange do rotor.....	49
Figura 66. Flange do rotor com parafusos de fixação.	50
Figura 67. CAD do centro cônico do eixo.	50
Figura 68. Centro cônico do eixo.	50
Figura 69. Eixo.....	51
Figura 70: CAD do rotor.....	52
Figura 71: Rotor.....	52
Figura 72. Pesos sobre o estator.	53
Figura 73. Estator depois da colagem.	53
Figura 74. Estator com manta geotêxtil.	54
Figura 75. Estator com as três espiras.	55
Figura 76. Estator faceado.....	55
Figura 77. Vista lateral do conjunto estator.	56
Figura 78. Conjunto estator.....	56
Figura 79. Flange do gerador, alojamento do rolamento dianteiro e tubo de fixação depois de prensados.....	57
Figura 80. Flanges acoplados ao suporte.	58
Figura 81. Conjunto gerador acoplado ao motor.....	59
Figura 82. CAD do gerador eletromagnético.	60
Figura 83. Vista lateral do CAD do gerador eletromagnético.....	60
Figura 84. Vista explodida do gerador eletromagnético.	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1.1 OBJETIVO GERAL.....	5
2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1 HISTÓRICO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	6
3.2 VEÍCULOS HÍBRIDOS.....	9
3.2.1 TIPOS DE VEÍCULOS HÍBRIDOS	10
3.2.1.1 Sistema híbrido série	10
3.2.1.2 Sistema híbrido paralelo	12
3.2.1.3 Sistema híbrido série/paralelo	12
3.2.1.4 Sistema <i>full hybrid</i>	13
3.2.1.5 Sistema <i>assist hybrid</i>	13
3.2.1.6 Sistema <i>mild hybrid</i>	14
3.3 O GURGEL BR-800.....	14
3.4 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS GERADORES ELÉTRICOS	16
3.5 GERADOR SÍNCRONO.....	17
3.6 GERADOR DE DESENVOLVIMENTO PLANO RADIAL.....	18
4. METODOLOGIA	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
5.1 ADEQUAÇÃO DO MOTOR DO BR-800 PARA ACOPLAMENTO DO GERADOR	22
5.1.1 DESMONTAGEM DO MOTOR.....	22
5.1.2 MONTAGEM DO MOTOR	27
5.1.3 PRODUÇÃO DO SUPORTE E PEÇAS DO MOTOR	29
5.1.4 COMPONENTES NECESSÁRIOS À PARTIDA DO MOTOR	34
5.2 PROJETO E FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES DO GERADOR ELETROMAGNÉTICO	35
5.2.1 ACOPLAMENTO DO EIXO.....	36
5.2.2 PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DO ENCAIXE DO EIXO	37
5.2.3 PRATO DE FIXAÇÃO DO TORÓIDE.....	37
5.2.4 CARRETEL DE ENROLAMENTO DO TORÓIDE	38
5.2.5 TORÓIDE.....	39
5.2.6 MOLDE DO ENROLAMENTO.....	44

5.2.7	ALOJAMENTOS DOS ROLAMENTOS	46
5.2.8	TUBO DE FIXAÇÃO DOS ALOJAMENTOS	47
5.2.9	FLANGE DO CONJUNTO GERADOR	48
5.2.10	FLANGE DO ROTOR	49
5.2.11	CENTRO CÔNICO DO EIXO	50
5.2.12	EIXO.....	51
5.2.13	ROTOR.....	51
4.3	MONTAGEM DO GERADOR ELETROMAGNÉTICO	52
5	CONCLUSÃO	61
6	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	62
	APÊNDICE	66

1. INTRODUÇÃO

Antigamente era comum que os projetos de engenharia se preocupassem única e exclusivamente com a resolução de algum determinado problema, sem a preocupação com as consequências que estariam atrelados a eles, e com os motores a combustão não era diferente. Os primeiros motores desenvolvidos possuíam um rendimento pífio, muito abaixo dos atuais, logicamente devido as limitações da época em que foram desenvolvidos, além de poluírem bastante o meio ambiente. Hoje em dia, cada vez mais aumenta a preocupação com eficiência e preservação ambiental, o que tem alavancado os estudos nesse setor.

O setor automotivo é um dos maiores responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa, principalmente de dióxido de carbono (CO_2), o qual é responsável por cerca de 20% das emissões globais, além de metano (CH_4), e óxidos de nitrogênio (N_xO_x), um dos principais problemas ambientais enfrentados atualmente. No Brasil, de acordo com informações do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), o setor automobilístico responde por cerca de 9% das emissões totais de CO_2 , conforme mostrado na Figura 1 (CNT, 2009).

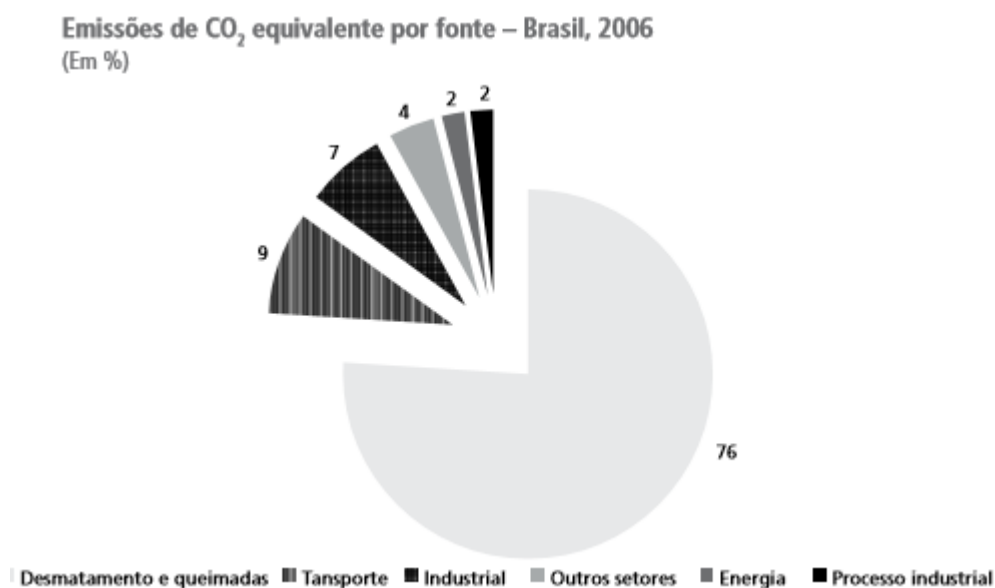


Figura 1. Emissões de CO_2 equivalente por fonte – Brasil, 2006 (Fonte: Inventário de emissões MCT, 2006).

Os transportes ainda são os maiores consumidores de derivados de petróleo, onde de acordo com a *International Energy Agency* (2013), 62% do consumo foram por este setor, 17% pelo setor energético e apenas 9% pelo industrial. É comum que com o crescimento da economia os países tenham também um aumento significativo em sua frota de automóveis. De acordo com um estudo de Dargay em 2007, o padrão de crescimento entre 1960 e 2002 em

países como os EUA, Alemanha e Japão, pode ser observado também na China, Índia, Brasil e Coréia do Sul. A frota cresce lentamente quando o país tem baixos níveis de desenvolvimento e de forma mais acelerada a medida que a economia do país melhora, estabilizando-se quanto mais elevado for o nível de desenvolvimento, como pode ser analisado na Figura 2 e 3.

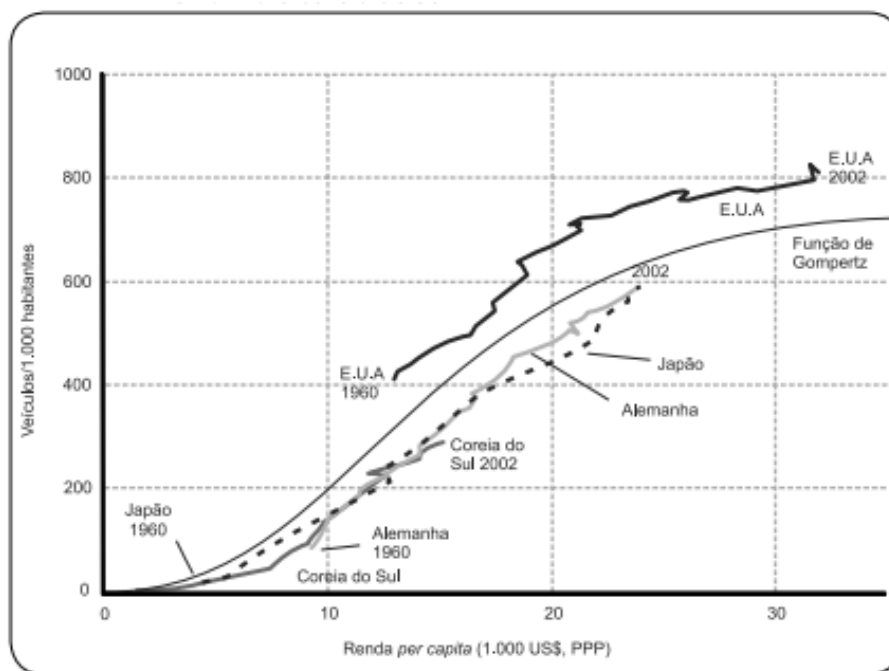


Figura 2. Frota vs desenvolvimento econômico – EUA, Japão, Alemanha e Coréia do Sul (Fonte: Adaptado de Dargay, 2007).

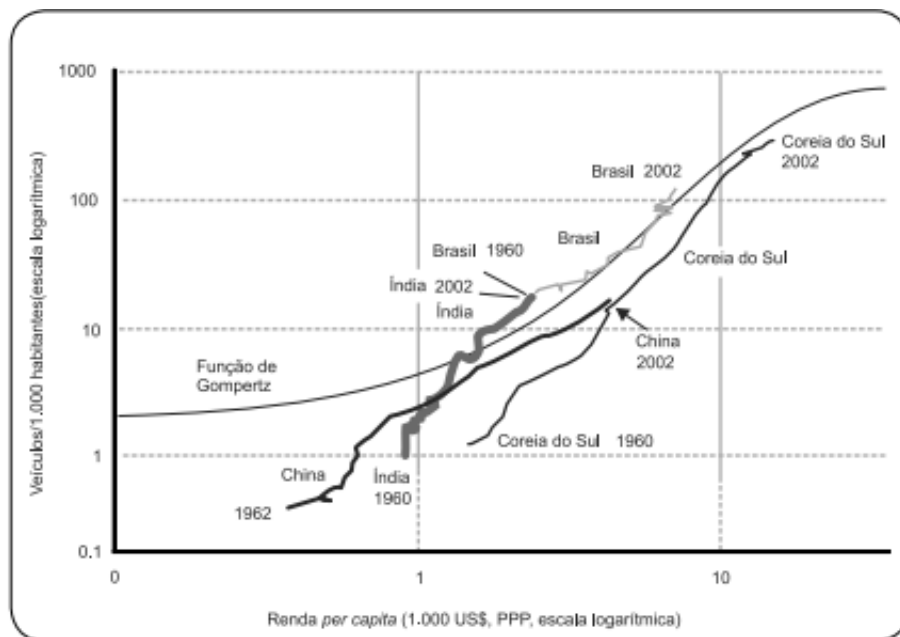


Figura 3. Frota vs desenvolvimento econômico – Brasil, China, Índia e Coreia do Sul

(Fonte: Adaptado de Dargay, 2007).

Com o intuito de minimizar os efeitos mundiais do aumento da frota veicular, uma das vertentes do setor automobilístico tem se voltado ao estudo de novas categorias de veículos, e uma das que mais cresce é a dos híbridos. Os automóveis chamados híbridos são aqueles que combinam duas fontes de energia, mais comumente fazendo uso de motores de combustão interna a gasolina e motores elétricos, embora também sejam viáveis projetos que implantem esta tecnologia em coletivos urbanos a diesel, o que melhoraria significativamente a qualidade do ar em grandes centros. Das tecnologias híbridas difundidas no mercado, se destaca a que aproveita a energia cinética gerada pelo motor de combustão.

De acordo com Louvigny (2008) os modelos híbridos mais comuns fazem uso da energia cinética da frenagem do veículo auxiliando o motor principal e incrementando os parâmetros de eficiência, como o consumo de combustível, desempenho e principalmente a emissão de gases nocivos. Tudo isso a um custo bem mais elevado quando comparado aos veículos convencionais da mesma categoria, principalmente no Brasil, onde não se tem tanta variedade de veículos híbridos e os existentes tem um alto custo.

No entanto, nem sempre os carros híbridos no Brasil foram frutos de importação. Em 1974 a empresa nacional Gurgel motores criou o primeiro carro híbrido brasileiro. Os carros desta montadora usualmente possuíam nomes que faziam menção a elementos nacionais e com este não foi diferente. Foi chamado de Gurgel Itaipu, Figura 4, em alusão a usina

hidrelétrica, e era um carro com características únicas. Um minicarro com capacidade para duas pessoas, com facilidade para ser dirigido e manobrado na cidade e o melhor, poderia ser carregado em qualquer tomada como um eletrodoméstico. Apesar de ser um conceito bastante promissor, o projeto teve alguns problemas como a duração da carga e o peso das baterias, que é uma dificuldade até hoje.



Figura 4. Gurgel Itaipu (Fonte: www.gurgel800.br/gurgel/itaipu, 1974).

Em 1980 depois de mais uma série de estudos, o projeto de carro híbrido foi retomado pela Gurgel, agora com o nome de Gurgel E400, deixando de ser um minicarro e se tornando uma espécie de furgão. Se comparado a um carro a gasolina possuía uma incrível autonomia de 90 km/l, contudo tinha capacidade para rodar apenas 80 quilômetros, a troco de 7 horas de carga em média, o que aliado ao problema com o peso das baterias, 80 kg cada uma, acabou impedindo novos avanços.

Assim, tendo como inspiração este projeto brasileiro pioneiro, o presente trabalho foi idealizado de forma a produzir um protótipo atual de um motor combustão/elétrico cujo objetivo é o acoplamento de um gerador elétrico em um motor puramente nacional, o Enertron do veículo Br-800 produzido pela Gurgel, e a apresentação de dados acerca do sistema após a restauração do motor, construção de uma bancada de testes e integração com o gerador elétrico.

2. OBJETIVOS

2.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é a construção de uma bancada experimental para acoplamento de um gerador elétrico à um motor de combustão interna, mais precisamente o motor Enertron do Gurgel Br-800, de forma a hibridizar o motor.

2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Manutenção e montagem do motor de combustão Enertron do BR-800;
2. Projetar e construir peças que serão substituídas e utilizadas na otimização do motor de combustão;
3. Projetar e montar uma bancada experimental onde serão instalados o motor e o gerador elétrico;
4. Projetar as peças do gerador eletromagnético;
5. Usinagem dos componentes do gerador eletromagnético;
6. Acoplamento do gerador ao motor de combustão;
7. Realização de testes para a aferição do funcionamento do sistema.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 HISTÓRICO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Desde seus primórdios, o homem vem elaborando maneiras de facilitar sua vida mediante a construção de ferramentas e utilização de insumos que facilitem a realização de determinadas tarefas, por exemplo, o uso do fogo no preparo de alimentos e proteção pessoal, que remete a milhares de anos atrás, e o uso de modernos *softwares* atualmente, o que demonstra que ainda se tem muito em comum com os primeiros habitantes do mundo: a busca pelo uso de energia, não sendo a força física do homem.

Isso não foi diferente na área dos transportes, tendo a humanidade dado um grande salto com a domesticação de animais como os cavalos, a construção de carroças, charretes e afins, e a posterior criação das grandes máquinas a vapor, que ficou conhecida como Revolução Industrial, o grande marco histórico que mudaria para sempre os processos de manufatura em todo o mundo, com ela vindo o aprimoramento dos meios de transporte com o uso de embarcações a vapor, locomotivas e motores que seriam utilizados nos primeiros automóveis.

Pode-se dizer que a primeira etapa da construção dos motores de combustão interna foi a criação das armas de fogo, onde a energia da explosão era transformada em trabalho durante o deslocamento do projétil, tendo Christiaan Huygens em 1637 utilizado pólvora para elevar um pistão dentro de um cilindro, sendo esta a primeira notícia divulgada sobre um motor (Martins, 2006). Contudo, os motores a pólvora não se mostraram tão atraentes devido à corrosão dos metais, causados pelo dióxido de enxofre e ácido sulfúrico resultantes da combustão, além do perigo ao usar tal combustível.

Em 1861 foi registrada por Etienne Lenoir, engenheiro e inventor belga, a primeira patente relativa a um motor de combustão interna comercialmente fabricado, mostrado abaixo na Figura 5, sendo que foram produzidos e comercializados cerca de 500 motores. O motor consistia de duas câmaras de combustão e possuía controle da entrada e saída de gases por válvulas, além de utilizar um sistema rudimentar de ignição composto por vela e carburador para combustíveis líquidos. Sua lubrificação era feita por óleo, que era fornecido regularmente. O grande problema deste motor era a quantidade de potência disponível, sendo que para algo em torno de 1 kW os motores poderiam pesar cerca de 2 toneladas, além de possuir uma relação rendimento e peso inversamente proporcional (Martins, 2006).

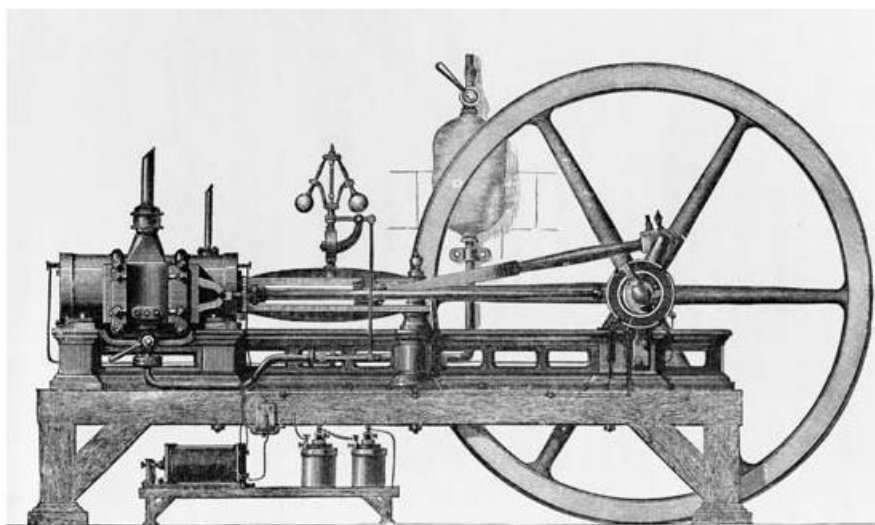


Figura 5. Ilustração do motor de Lenoir, 1896 (Fonte: Library of Congress, Washington D.C, 1896).

Um ciclo diferente dos propostos até então, foi desenvolvido teoricamente pelo engenheiro francês Beau de Rochas, que divulgou o princípio do ciclo de motores de 4 tempos (admissão, compressão, combustão e exaustão) com compressão prévia e combustão a volume constante. O mais notório motor com este ciclo foi desenvolvido por Nicolaus Otto em 1876, sendo um grande salto na construção de motores de combustão interna, uma vez que possuíam um rendimento igual ou maior aos motores produzidos até então, porém, com tamanho e peso menores, além da suavidade durante a operação, dando início a produção industrial deste tipo de motor.

O ciclo Otto de 4 tempos, como ficou conhecido, trabalha de acordo com as seguintes etapas:

- 1º tempo: Ocorre a admissão da mistura de ar e combustível, onde durante a descida do pistão a válvula de admissão é aberta e possibilita a entrada da mistura.
- 2º tempo: Ocorre a compressão da mistura, estando as válvulas fechadas o pistão sobe comprimindo-a.
- 3º tempo: Ocorre a queima ou explosão, no ponto de compressão máximo do pistão uma centelha elétrica gerada pela vela causa a explosão do combustível. Esta explosão empurra o pistão para baixo.
- 4º tempo: Ocorre a exaustão, onde a válvula de escape está aberta possibilitando a saída dos gases, retomando o ciclo.

A Figura 6 mostra como estes ciclos ocorrem esquematicamente:

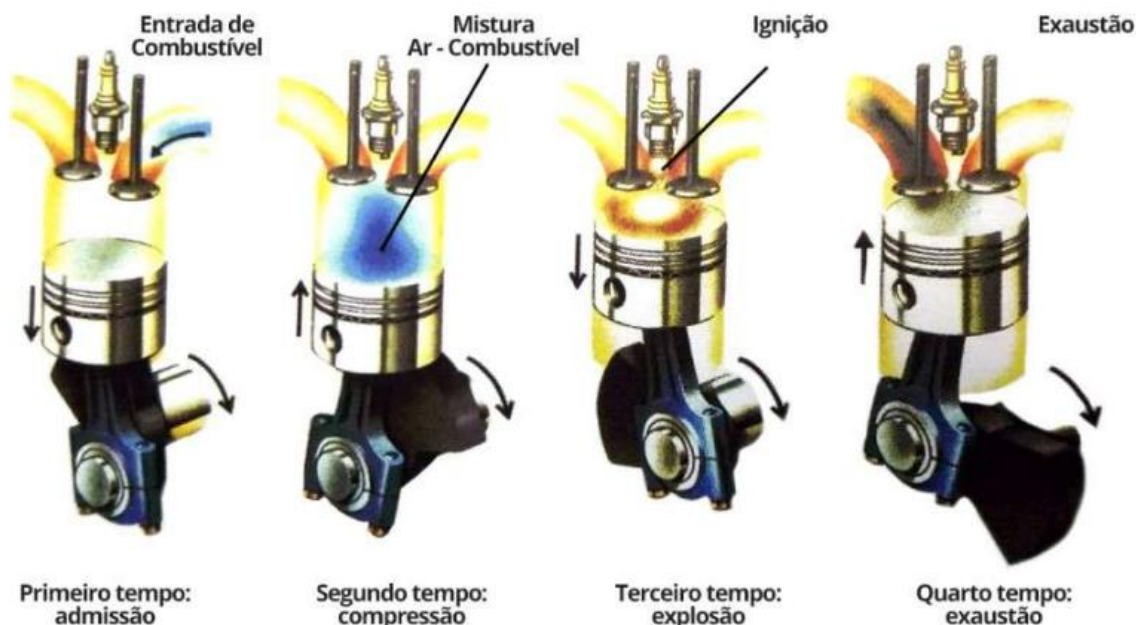


Figura 6. Os 4 tempos do motor de ciclo Otto (Fonte: INJEPRO, 2017).

Outra vertente do ciclo Otto bastante utilizada foi o ciclo de 2 tempos, principalmente em motocicletas. Estes motores, mais leves e simples, rendem potência maior que a dos motores de 4 tempos, contudo são mais poluentes, o que praticamente os extinguiu do mercado devido as novas regras de emissão de gases impostas as montadoras.

De acordo com os estudos de Martins (2006), não apenas os motores de ciclo Otto obtiveram grande sucesso de funcionamento. Em 1892 em sua patente, após 8 anos de desenvolvimento, Rudolf Diesel propôs um método de funcionamento onde a mistura ar combustível fosse comprimida dentro de um cilindro por um pistão até que a temperatura alcançada fosse maior que a temperatura de combustão do combustível, tendo sido construído em 1895 um protótipo que funcionou com eficiência de 16%.

Diversos tipos de motores foram criados e aprimorados sendo que atualmente podem ser classificados das mais diversas formas, como o tipo de movimento (movimento alternativo, movimento rotativo), segundo o tipo de combustível usado (gasolina, gasóleo, gás), segundo a forma como se realiza a combustão (motores de explosão, motores Diesel) e segundo o ciclo termodinâmico (ciclo de Otto, ciclo de Diesel, ciclo de Brayton).

Paralelamente a construção dos motores propriamente ditos, foi ocorrendo o aperfeiçoamento e criação de componentes auxiliares dos motores de combustão, como dispositivos que permitissem o uso não mais da mistura gás e ar, mas combustíveis líquidos, sendo para isso desenvolvidos componentes como o carburador, sistemas mais avançados de ignição, arrefecimento, etc.

3.2 VEÍCULOS HÍBRIDOS

Diferentemente do que muitos pensam, automóveis elétricos e híbridos não são uma invenção tecnológica contemporânea, estudos nessa área remetem ao ano de 1900 quando Ferdinand Porsche desenvolveu o veículo mostrado na Figura 7, que possuía um sistema com um motor de combustão interna que girava a uma velocidade constante para abastecimento de um gerador elétrico simples, responsável por carregar um banco de acumuladores que moviam motores elétricos montados nas rodas dianteiras (Calmon, 2008).



Figura 7. Carro híbrido de Ferdinand Porsche (Fonte: Google imagens, 2017).

Os avanços nesta área mantiveram-se praticamente inalterados desde essa época até meados dos anos 90 devido a facilidade e baixo custo com que eram encontradas fontes de combustíveis fósseis. Com o início da escassez do petróleo e da preocupação com a poluição emitida pelos motores veiculares, estes projetos foram retomados e em 1997 a montadora Toyota desenvolveu o primeiro carro híbrido a ser produzido em larga escala, o Prius, Figura 8, que foi um grande passo para o desenvolvimento e consolidação de vários outros modelos.



Figura 8. Toyota prius, 1997 (Fonte: Revista 4 rodas, 1997).

Em 2009, as vendas de híbridos no mundo atingiram 598.739 unidades (HybridCars.com, 2010), sendo 44% nos EUA, 41% no Japão e os demais na Holanda, Reino Unido e Canadá. Nos EUA, os maiores mercados se encontram em Los Angeles, Nova York, São Francisco, Washington (D.C.) e Chicago. As vendas de híbridos nos EUA em 2008 representaram pouco mais que 4% do mercado norte-americano, totalizando 279.847 unidades (HybridCars.com, 2010). O Toyota Prius pode ser considerado um fenômeno de vendas, pois domina atualmente quase 50% do mercado de híbridos, concorrendo com cerca de 20 modelos de automóveis híbridos à venda nos EUA.

3.2.1 TIPOS DE VEÍCULOS HÍBRIDOS

Veículos híbridos que fazem uso de motor de combustão interna e motores elétricos podem possuir três tipos básicos de arquitetura: os híbridos série, paralelo e os mistos, que utilizam elementos dos dois tipos. Podem ser classificados também de acordo com o grau de atuação do motor elétrico no funcionamento do veículo, recebendo os nomes *full*, *assist* ou *mild*.

3.2.1.1 Sistema híbrido série

Os veículos híbridos do tipo série são aqueles que as rodas são tracionadas apenas pelo motor elétrico, havendo conexão alguma entre este e o motor de combustão interna. O papel do motor de combustão é estar conectado a um gerador, fornecendo energia elétrica suficiente para recarregar as baterias bem como alimentar o motor elétrico para tração do veículo.

De acordo com Imbasciati (2012), dessa forma o motor de combustão opera em uma faixa de trabalho mais eficiente, além de ser menor e mais leve que os motores convencionais. A seguir na Figura 9, tem-se um diagrama simplificado de veículo híbrido série.

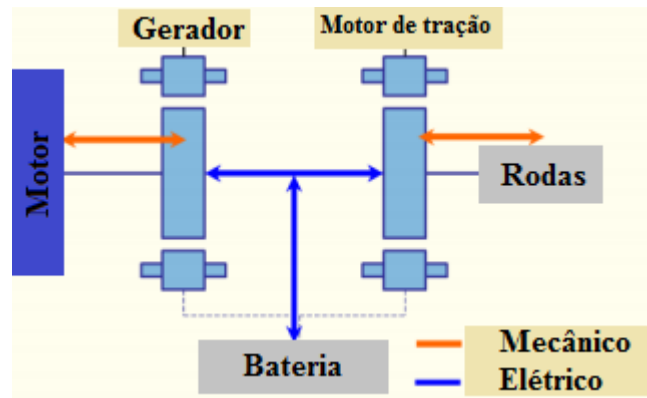


Figura 9. Diagrama de veículo híbrido série (Fonte: Ford Motor Company, 2011).

Este sistema pode ou não ter baterias. Caso tenha, estas podem alimentar o motor elétrico (carga previamente gerada pelo motor de combustão). Se não tiver baterias o motor de combustão deve operar continuamente gerando energia elétrica que vai direto ao motor elétrico, que traciona o veículo.

Esse sistema pode ainda ser recarregado no modo “*plug-in*”, através de uma fonte externa de energia como qualquer eletrodoméstico, em tomadas residenciais por exemplo. Veículos como o Toyota Prius, e o Chevrolet Volt, Figura 10, utilizam esta arquitetura.



Figura 10. Chevrolet Volt (Fonte: Motor Dream, 2011).

3.2.1.2 Sistema híbrido paralelo

Diferentemente dos modelos híbridos série, os sistemas híbridos paralelo possuem uma transmissão mecânica que conectam o motor elétrico e o motor a combustão às rodas do veículo. Nesse sistema a fonte que tracionará o veículo irá depender da exigência momentânea, enquanto o veículo está em baixa velocidade ou parado, o motor de combustão fica desligado e o veículo é alimentado apenas pelo motor elétrico. Caso necessite de maiores acelerações pode usar uma combinação das duas fontes. Deve possuir baterias de alta capacidade necessárias ao provimento de energia para o motor elétrico e demais componentes, como ar-condicionado, direção elétrica, som, iluminação, etc (Imbasciati, 2012).

Abaixo na Figura 11 tem-se um diagrama desta configuração.

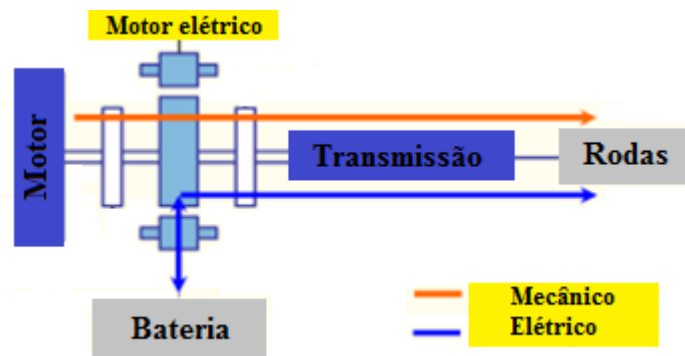


Figura 11. Diagrama de veículo híbrido paralelo (Fonte: Ford Motor Company, 2011).

3.2.1.3 Sistema híbrido série/paralelo

Nos estudos de Imbasciati (2012) é dito que neste sistema são combinadas características dos dois sistemas, e assim como nos híbridos série também é utilizado um gerador para que o motor de combustão possa produzir energia elétrica. Assim, pode ser fornecida energia para as rodas e gerar eletricidade ao mesmo tempo. A Toyota faz uso deste tipo de sistema em seus automóveis, permitindo que um ou ambos motores tracionem o veículo, proporcionando um ganho de potência e diminuição dos custos devido as condições mais otimizadas de operação. Seu diagrama está explicitado na Figura 12.

3.2.1.6 Sistema *mild hybrid*

Este é um dos sistemas mais limitados de híbrido que existem. Nele o motor elétrico fornece nenhuma ajuda quanto a tração do veículo, fornecendo apenas funções de regeneração de carga, que melhora o consumo de combustível.

3.3 O GURGEL BR-800

O BR 800, originalmente chamado de CENA (Carro Econômico Nacional), foi o primeiro carro completamente desenvolvido no Brasil. Lançado no ano de 1988, diferentemente dos outros carros da Gurgel que eram fabricados a partir de componentes Volkswagen, era inteiramente desenvolvido no país e a maior parte das peças e componentes fabricados pela própria empresa.

O carro se tratava de um compacto bastante leve (3,195 m de comprimento e peso líquido de 620 kg), com capacidade de transportar até quatro pessoas e carga útil de até 350 kg, que agradou ao público por ser mais econômico e mais barato que seus concorrentes da época. Na Figura 13 tem-se a dimensão da compacticidade do BR-800.

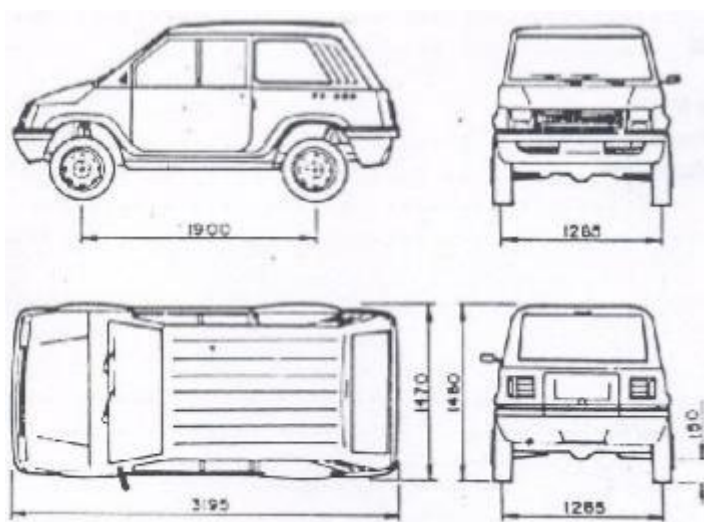


Figura 13. Dimensões externas do BR 800 (Fonte: Manual de serviços Gurgel BR 800, 1988).

Um dos aspectos determinantes para a diminuição do peso do veículo foi o projeto do motor, mostrado na Figura 14, chamado de Gurgel Enertron. De acordo com o manual de instruções do veículo:

O motor que equipava o Br-800 desloca 792 cc e possui 2 cilindros opostos, dispostos horizontalmente, possuindo ainda conjuntos de cilindros/camisas removíveis. A árvore de manivelas é apoiada em dois mancais lubrificados à pressão por uma bomba de engrenagens o que, em conjunto com o motor, assegura um funcionamento silencioso e livre de vibrações.

O sistema de camisas úmidas removíveis proporciona extrema facilidade de reparo, garantindo vida útil praticamente ilimitada ao bloco. A refrigeração dos cilindros é extremamente eficiente, uma vez que as camisas estão em contato direto com o líquido de arrefecimento.

Os cabeçotes são construídos em liga especial de alumínio, extremamente leves e resistentes, incorporam as válvulas e respectivos mecanismos de acionamento – balancins, eixos dos balancins, hastes das válvulas, etc. As varetas de cada uma das válvulas trabalham dentro de um tubo, cujas extremidades são encaixadas respectivamente no cabeçote e bloco do motor.

A árvore de comando das válvulas está alojada no bloco, abaixo da árvore de manivelas, sendo acionada por meio de uma corrente, provida de apoio e esticador com mola. As extremidades dianteira e traseira da árvore de comando das válvulas acionam respectivamente a bomba d'água e a bomba de óleo.

A lubrificação do motor é garantida por uma bomba de óleo de alto rendimento (sistema de engrenagens), que força o lubrificante através de um filtro de fluxo total para as galerias do sistema de lubrificação.

A fixação do motor ao conjunto a transmissão é feita por meio de um flange, localizado na parte traseira do motor, o qual é unido, por meio de prisioneiros e porcas à carcaça da embreagem. O conjunto motor/transmissão é apoiado em dois coxins dianteiros e um traseiro. Os coxins dianteiros sustentam a carcaça da embreagem, encaixando-se em suportes com furos oblongos existentes no chassi.

Os motores que equipavam os veículos BR-800, possuem ainda características únicas, que os tornam extremamente econômicos e de grande simplicidade de manutenção. O sistema de ignição é totalmente comandado por um módulo eletrônico, que elimina o distribuidor convencional, o qual é substituído por sensores magnéticos, localizados no volante do motor. Dessa forma, o sistema convencional de acionamento mecânico do distribuidor é dispensado.

Todos os agregados do motor alternador, bomba d'água e bomba de óleo, são acionados diretamente pelo motor, dispensando a utilização de correias de acionamento” (Gurgel motores, 1988, p. 24).



Figura 14. Motor Enertron, BR 800 (Fonte: gurgel800.com.br, 1988).

A versão final comercializada do carro tinha engrenagens de câmbio ligeiramente afinadas com o intuito de diminuir o peso e a inércia do sistema de transmissão, sem ter ocorrido comprometimento da durabilidade graças ao câmbio superdimensionado para o torque do motor. A ficha técnica completa é mostrada na Figura 15:

FICHA TÉCNICA	
Motor	- Dianteiro, longitudinal, 2 cilindros horizontais opostos, comando de válvulas centrais, refrigerado a água. Bloco em liga leve de alumínio-silício. Camisas molhadas removíveis. Ignição computadorizada, com distribuidor. Alimentação: carburador de corpo simples; a gasolina.
Diâmetro x curso	- 85,5 x 69,0 mm.
Cilindrada total	- 798,0 cm ³ .
Taxa de compressão	- 8,5:1.
Potência máxima	- 32 cv a 4 500 rpm.
Torque máximo	- 5,8 mkgf a 2800rpm.
Câmbio	- Mecânico. Relações de marcha: 1. ^a) 1:3,746; 2. ^a) 1:2,157; 3. ^a) 1:1,378; 4. ^a) 1:1; ré) 1 :3,815; diferencial 1:4,10. Tração traseira.
Suspensão dianteira	- independente, geometricamente progressiva de braços oscilantes e com molas e amortecedores do tipo spring-schock.
Suspensão traseira	- Eixo rígido com molas semi-elípticas longitudinais e amortecedores telescópicos.
Freios	- Disco na dianteira e tambor na traseira.
Direção	- Mecânica, com pinhão e cremalheira. Volante: 34,3 cm. Diâmetros de giro: 8,70 m à direita e 8,48 m à esquerda.
Dimensões externas	- Comprimento: 319,5 cm; largura: 146,0 cm; altura: 146,0 cm; distância entre eixos: 190,0 cm; bitola dianteira: 128,5 cm; bitola traseira. 128,5 cm; altura mínima do solo: 15,0 cm.
Rodas	-Aro 13 x tala 4,5 polegadas.
Pneus	- 145SR13.
Porta-malas	- 138 litros.
Carga total	- 350 kg.
Peso	- 634 kg.
Fabricante	- Gurgel Motores S.A., Rodovia Washington Luiz, km 171, Rio Claro, SP, CEP 13500, Telex (0195) 191419, tel. (0195) 34-9588.

Figura 15. Ficha técnica do BR 800 (Fonte: Revista Quatro Rodas, 2016).

3.4 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS GERADORES ELÉTRICOS

Os geradores elétricos utilizados na indústria baseiam-se em um princípio que teve seu primeiro estudo em 1820 após Oersted ter experimentalmente descoberto que a corrente contínua era capaz de produzir um campo magnético. Foi então em 1831 que Michael Faraday em Londres e Joseph Henry em Nova York descobriram o contrário, que um campo magnético variável no tempo seria capaz de produzir eletricidade (Sadiku, 2004).

De acordo com os experimentos de Faraday, um campo magnético estático não produz fluxo de corrente, enquanto um campo magnético variável no tempo produz uma tensão

induzida, determinada força eletromotriz, em um circuito fechado, o que causa fluxo de corrente (Sadiku, 2004).

A *lei de Faraday*, conhecida também como lei da indução eletromagnética, foi matematicamente transcrevida em 1845 por Franz Ernst Neumann, e é uma das quatro equações de Maxwell que regem o eletromagnetismo clássico, expressa da seguinte maneira:

$$V_{fem} = -N \frac{d\psi}{dt}$$

Onde V_{fem} é a tensão induzida, denominada força eletromotriz (em volts), N é o número de espiras no circuito e ψ é o fluxo em cada espira. Já o sinal negativo mostra que a tensão induzida é oposta ao fluxo que a produziu, sendo essa propriedade conhecida como Lei de Lenz. Essa lei descreve que o sentido de fluxo da corrente no circuito é tal que o campo magnético produzido pela corrente induzida se opõe ao campo magnético original (Sadiku, 2004).

O fluxo ψ pode ser definido dentro da área Σ que sofre a interação da seguinte forma (Dutra, 2015):

$$\psi = \iint_{\Sigma(t)} \mathbf{B}(r, t) \cdot d\mathbf{A}$$

Onde \mathbf{B} é o vetor campo magnético e \mathbf{A} o vetor área perpendicular à superfície do material imersa no campo magnético. (Dutra, 2015)

Pela definição da força eletromotriz, aplicando o diferencial, podemos escrever na forma integral pelo teorema de Kevin-Stokes (Dutra, 2015):

$$\oint_{\delta\Sigma} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_{\Sigma} \frac{\delta\mathbf{B}}{\delta t} \cdot d\mathbf{A}$$

Onde \mathbf{E} é o campo elétrico induzido e $d\mathbf{l}$ um elemento infinitesimal do circuito.

3.5 GERADOR SÍNCRONO

O gerador síncrono trata-se de uma máquina capaz de transformar energia mecânica na forma de rotação em energia elétrica, através da excitação de fluxo no rotor. É chamado de síncrono por causa da igualdade entre a frequência elétrica e a angular. Podem ser utilizadas

tanto como motores quanto como geradores, sendo, contudo, a última aplicação a comumente utilizada (Nascimento et al., 2016).

Seu princípio de funcionamento é baseado na variação do campo magnético em um condutor localizado no rotor, responsável por gerar uma tensão elétrica induzida nos enrolamentos do estator, cuja polaridade é dependente do sentido do campo e do valor de fluxo que o atravessa (Nascimento et al., 2016).

As partes fundamentais dos geradores síncronos são as seguintes:

- Estator: É a parte fixa do gerador. Pode também ser chamada de circuito de armadura, e é composta por uma carcaça metálica e um enrolamento ao qual será induzida uma tensão.
- Rotor: É a parte móvel do gerador. Pode também ser chamada de circuito de campo, e é o componente que girará a velocidade constante, composto por uma carcaça metálica e um enrolamento, que quando alimentado com CC cria um campo magnético giratório.
- Carcaça: Invólucro do gerador, responsável por evitar o contato entre os circuitos internos e por manter o gerador fixo.
- Eixo: Fabricado geralmente em aço.
- Sistema de excitação: Combinação de aparatos desenvolvidos para fornecimento e controle da corrente de campo do gerador por meio de reguladores automáticos.

3.6 GERADOR DE DESENVOLVIMENTO PLANO RADIAL

A disposição dois estatores e um rotor central foi escolhida para efeito de pesquisa e levantamento das características próprias deste tipo de máquina que é algo desconhecido.

Comparando com outros geradores conhecidos, a máquina é caracterizada por ter um conjunto mecânico de disposição plano radial, sendo o rotor composto por ímãs de neodímio N52 SH, em número de 20 como mostrado na figura 71. O estator em número de dois, possui slots dimensionados para suportar 3 ou 4 espiras sendo que no projeto ele carrega apenas uma espira para cada estator num sistema de 3 fases para cada estator, permitindo a avaliação do dispositivo gerador por análises de tensão x rotação, potência de curto circuito e outras medidas podem ser realizadas para perfeita caracterização do objeto como medidas de indutância, resistência ôhmica do enrolamento por espira, elevação de temperatura.

Além disso, a disposição do rotor permitirá uma ventilação por deslocamento centrífugo do ar, permitindo que se dispense o ventilador reduzindo perdas próprias da máquina.

As bobinas conforme a figura 59, tem um comprimento reduzido permitindo também baixas perdas por resistências ôhmicas e indutância, esperando-se, portanto, elevado rendimento do conjunto.

Pode também operar como motor, desde que seja acompanhado de um inversor adequado.

3.7 IMÃS DE NEODÍMIO

Os ímãs de Neodímio NdFeB são sinterizados por metalurgia do pó, compostos de neodímio (Nd), ferro (Fe), boro (B), disprósio (Dy), cobalto (Co) e outros elementos menores. São os ímãs de terras raras com o maior desempenho magnético e força coercitiva do mundo (Magnet4less, 2017).

Os ímãs NdFeB tem excelentes propriedades magnéticas e são extremamente fortes para o seu tamanho. São mais sensíveis às mudanças de temperatura, variando de 0,10% / ° C - 0,13% / ° C. São ímãs permanentes com o produto de energia máxima mais alta. Ao longo dos últimos 10 anos, devido ao alto índice de desempenho sobre o preço dos ímãs NdFeB, estes tornaram-se extremamente populares em quase todas as aplicações de alta tecnologia que exigem ímãs, motores, sensores, computadores, comunicações, equipamentos médicos, medidores, eletrodomésticos e assim por diante (Magnet4less, 2017).

Estes ímãs são mecanicamente mais fortes do que os ímãs samário-cobalto (Sm-Co) e pouco menos que os ímãs cerâmicos e alumínio/níquel/cobalto (AlNiCo). No entanto, são muito fáceis de serem corroídos, devendo ser protegidos com um revestimento especial, como zinco (Zn), níquel (Ni), níquel-cobre-níquel (Ni-Cu-Ni) ou epóxi. Em geral, os ímãs NdFeB sinterizados precisam de usinagem de acabamento para atender a tolerância final (Magnet4less, 2017).

Os ímãs utilizados no gerador eletromagnético são do modelo N52 SH, que pode trabalhar acima dos 100 °C, com medidas de 1”×0,5”. Na Figura 16, tem-se a imagem deste modelo de ímã.

O Brasil é um dos países com maior reserva de terras raras do planeta, e atualmente pouco explora este precioso recurso natural. Estimativas da agência de serviços geológicos Norte-Americano apontam que as reservas brasileiras podem chegar a 3,5 bilhões de toneladas de terras raras. Já conhecendo o potencial nacional, a Fundação Certi, de Santa Catarina, o Instituto de pesquisas Tecnológicas (IPT), de São Paulo, e o Centro de Tecnologia Mineral, do Rio de Janeiro, estão se articulando para dar apoio a iniciativa privada, caso seja decidido explorar estes recursos minerais (Simões, 2011).



Figura 16. Imã de neodímio modelo N52 (Fonte: Magnet4less, 2017).

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho consiste no acoplamento de um gerador elétrico a um motor de combustão interna de um veículo Gurgel modelo BR-800, bem como o levantamento teórico sobre motores de combustão interna e veículos híbridos.

Por se tratar de um motor sem utilização há alguns anos, optou-se primeiramente por desmontá-lo por completo para que fosse mais bem avaliada sua situação e para que fosse reconicionado, ficando em condições adequadas de uso.

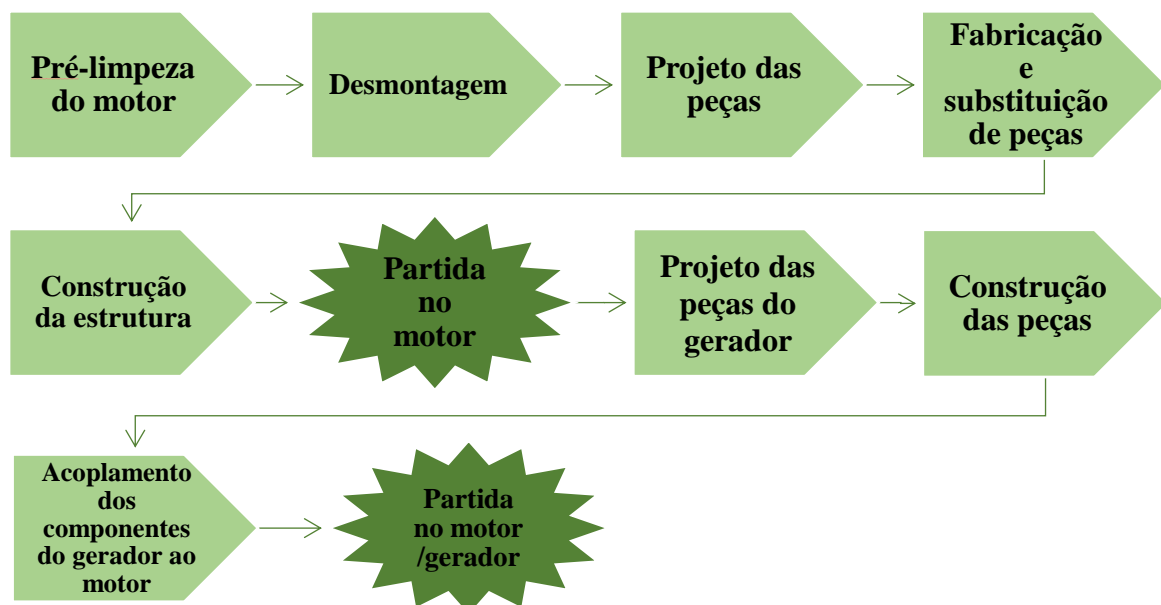
Pelo fato de ser um motor antigo, várias peças tiveram que ser fabricadas pela dificuldade que seria encontrá-las atualmente no mercado. Foram utilizadas técnicas de usinagem e soldagem na produção destas, bem como foram adaptadas peças similares de outros automóveis.

Em seguida foi elaborada uma estrutura para que o motor pudesse ser instalado juntamente com seus componentes como tanque de combustível, módulo de ignição, motor de partida, bateria e demais acessórios necessários para seu funcionamento.

Na segunda parte do trabalho, foram projetadas e usinadas as peças componentes do gerador eletromagnético, onde foram utilizados processos de usinagem, solda, fresamento, prensagem, colagem, etc.

Para melhor dimensionamento dessas estruturas e peças foi utilizado o software CATIA V5R19 como estratégia de simulação e visualização tridimensional dos sistemas, para que dessa forma pudessem ser trabalhadas as melhores dimensões e modificações das peças.

Abaixo, um fluxograma mostra as etapas envolvidas no projeto.



5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ADEQUAÇÃO DO MOTOR DO BR-800 PARA ACOPLAMENTO DO GERADOR

A primeira etapa do projeto foi onde foram realizados diversos processos de restauração do motor e preparo deste para acoplamento do gerador. Nos próximos capítulos são descritas estas etapas.

5.1.1 DESMONTAGEM DO MOTOR

O motor utilizado no projeto encontrava-se sem utilização há alguns anos, portanto precisava de alguns ajustes e manutenções para que voltasse a funcionar e pudesse ser utilizado de maneira satisfatória. Estava travado e bastante sujo de óleo, então a primeira etapa da manutenção foi uma pré-limpeza do motor, que seria apenas a retirada do óleo da parte externa. Após ser desmontado, uma limpeza mais fina com jato de querosene nas peças foi realizada. Depois da pré-limpeza o motor ficou como mostram as Figuras 17 e 18:



Figura 17. Motor depois da pré-limpeza, parte frontal.



Figura 18. Motor depois da pré-limpeza, parte traseira.

Depois de feita a limpeza do motor iniciou-se o processo de desmontagem, onde primeiramente foram definidas as ferramentas, Figura 19, que seriam necessárias para esta etapa.



Figura 19. Ferramentas utilizadas na desmontagem.

A desmontagem do motor iniciou pela retirada de seus elementos externos. Retirando-se os seguintes elementos:

- O conjunto carburador;
- Tubos de admissão;
- Bomba d'água;
- Polias do alternador;
- Bomba de gasolina;
- Adaptador do sistema de refrigeração;
- Mangueiras de refrigeração dos cilindros e cabeçote;
- Capas das varetas de válvula;
- Varetas de válvula;
- Filtro de óleo;
- Tampas dos cabeçotes;
- Juntas dos cabeçotes;
- Volante do motor;
- Tensor do esticador da corrente da distribuição, e;
- Velas.

Esta foi uma etapa trabalhosa, devido ao tempo em que um serviço desse tipo não era realizado no motor, portanto, algumas peças estavam difíceis de serem extraídas, em virtude do acúmulo de graxa, óleo e terra entre as peças conectadas.

Algumas mangueiras se encontravam bastante deterioradas e foram trocadas por mangueiras novas. As capas das varetas de válvulas também estavam bastante danificadas, como pode ser visto na Figura 20, devido provavelmente a manuseios inadequados e possíveis posições que o motor foi guardado, que acabou por amassá-las, portanto, foram trocadas também, pelas capas de vareta do VW fusca, em plástico, que se mostraram uma opção melhor que as originais.



Figura 20. Elementos externos ao motor.

Depois de extraídos os elementos externos do motor, partiu-se para a retirada dos internos. Foram retirados:

- A tampa da distribuição, preservando-se ao máximo a junta original;
- A sapata do esticador da corrente;
- A trava da algema da corrente da distribuição;
- A corrente de distribuição;
- O conjunto formado por cilindro/camisa, para que se obtivesse acesso ao pino;
- Os anéis-trava do pino;
- Os pistões, que estavam muito justos à camisa além de apresentarem sinais de corrosão;
- As bielas, cujos casquilhos estavam ruins e foram substituídos por novos, mantendo-se atentos ao posicionamento original de cada uma;
- O virabrequim feito de ferro fundido com superfície endurecida, modelo Gurgel PVB, curso 69-72, com 2 mancais de apoio, o dianteiro com engrenagem de comando e o traseiro responsável por acoplar o conjunto platô e embreagem, através de 6 parafusos com 10 mm de rosca. Tendo os mancais principais 54,7 mm de diâmetro (lado do comando) e o mancal da biela 54,2 mm, e;
- Cáster.

Uma das falhas detectadas durante a desmontagem, e uma possível causa do travamento do motor, é devido ao pino responsável por travar o mancal traseiro do virabrequim. Notou-se a inexistência do pino, provavelmente, devido a uma falha de montagem anterior, onde este não havia sido colocado, com isso o mancal saiu de sua posição ideal travando o motor.

Abaixo na Figura 21, os componentes internos retirados do motor, e na Figura 22 como ficou o motor após a retirada de todas as peças.



Figura 21. Componentes internos do motor.



Figura 22. Motor após desmontagem.

5.1.2 MONTAGEM DO MOTOR

Depois de desmontado e avaliada a condição dos componentes do motor, as peças passíveis de reutilização passaram novamente por uma limpeza com CAR 80 e jatos de querosene. Além disso, uma atenção especial foi dada ao virabrequim, pois as bielas não estavam com folga adequada, ficando travadas e difíceis de virar em algumas posições. A solução adotada foi um “passe” leve no torno, Figura 23 e Figura 24, com o auxílio de lixas de diferentes *meshs* ou granulometrias, até que a superfície ficasse totalmente lisa e polida.

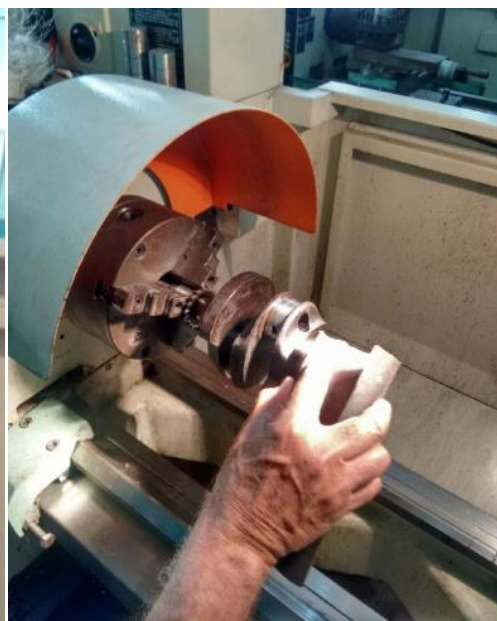


Figura 23. Passe dado no virabrequim em torno. **Figura 24.** Passe dado no virabrequim em torno.

Com isso, o motor ficou mais leve durante o giro, facilitando mais seu giro e consequentemente melhorando seu desempenho.

Optou-se por reutilizar as juntas originais, além de aplicar, onde necessário, silicone vermelho de vedação para alta temperatura ou cola para junta de motores Diesel, afim de evitar qualquer tipo de vazamento. Algumas juntas estavam danificadas em alguns pontos como é possível observar na Figura 25. Estas falhas foram preenchidas com silicone.

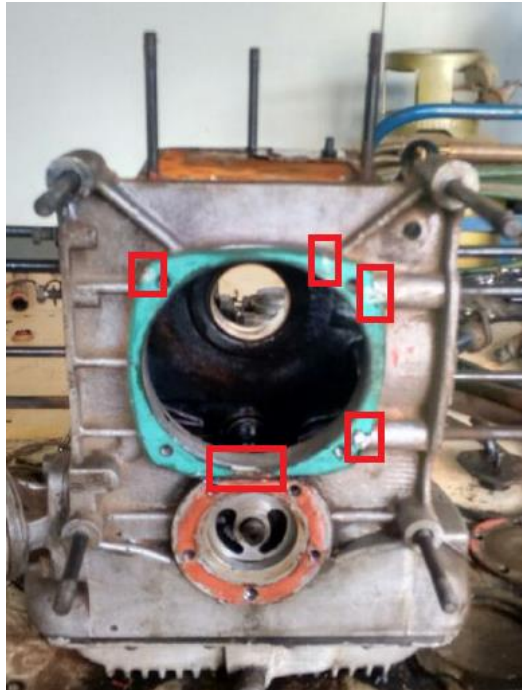


Figura 25. Pontos onde haviam falhas na junta.

Outra precaução que se teve e deve-se sempre ter durante a montagem de um motor é a lubrificação das peças, para que no momento da primeira partida estas estejam devidamente oleadas, evitando a formação de riscos e desgaste. O óleo utilizado na montagem foi o Shell Spirax S2 G 90.

Por encontrar-se danificado, optou-se por não utilizar o radiador do BR-800. Suas velas e filtro de óleo também foram substituídos por novos. Após o término da montagem do motor, diferentemente de como estava inicialmente, este virava facilmente com a mão, emperrando em momento algum.

5.1.3 PRODUÇÃO DO SUPORTE E PEÇAS DO MOTOR

Durante a manutenção do motor por diversas vezes houveram dificuldades de manuseio devido ao peso. Visando então uma maior facilidade de movimentação do motor foi projetado um suporte com rodas, onde o motor, bem como seus componentes, pudesse ser devidamente acoplado. O suporte foi feito usando perfis e chapas de aço, e possui rodas, sendo que o primeiro suporte elaborado ficou como mostram as Figuras 26 e 27.



Figura 27. Primeiro suporte elaborado.



Figura 26. Primeiro suporte elaborado.

O suporte com o motor acoplado ficou fácil de manusear, porém, uma preocupação foi como este se comportaria com o motor ligado devido sua altura, a vibração poderia acabar derrubando a estrutura, então foi elaborado um suporte semelhante, contudo, mais baixo e com uma estrutura que envolveria o motor e serviria para sustentação de alguns componentes. Com o software CATIA V5R19 foi elaborado o protótipo das Figuras 28 e 29.

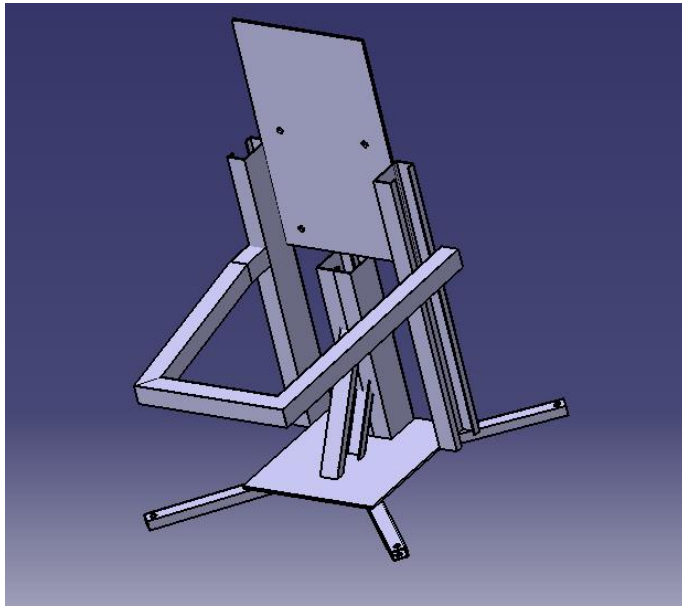


Figura 28. CAD do segundo suporte do motor.

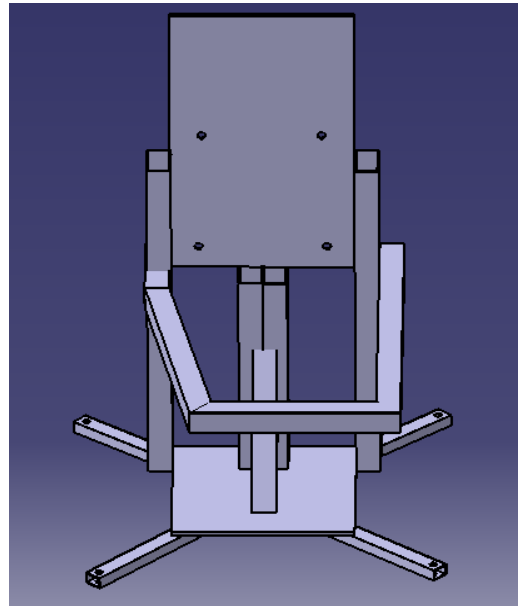


Figura 29: CAD frontal do segundo suporte do motor.

Depois de projetado, o suporte foi produzido e teve o motor acoplado, se mostrando mais estável que o primeiro produzido, como mostrado nas Figuras 30 e 31.



Figura 30. Segundo suporte com motor acoplado, vista traseira.



Figura 31. Segundo suporte com motor acoplado, vista frontal.

Além do suporte foram fabricados no torno dois anéis em alumínio, que serviram de calço para os escapamentos. Abaixo nas Figuras 32 e 33, o desenho técnico do calço e a peça fabricada, respectivamente.



Figura 32: CAD do calço.



Figura 33: Calço.

Para fixação do motor de partida do BR-800 foi produzida por torneamento uma peça em Nylon, onde este componente seria acoplado e parafusado a chapa de aço onde o motor também se encontra preso. O desenho técnico e o calço produzido encontram-se abaixo nas Figuras 34 e 35.

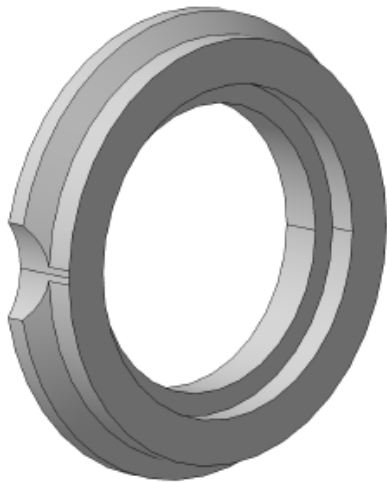


Figura 34: CAD do calço do motor de partida.



Figura 35: Calço do motor de partida.

Além de ter esta peça que o fixa pela parte de trás da chapa, uma outra peça foi desenvolvida para fixar o motor de partida pela frente, servindo de guia para seu eixo. Esta

peça foi desenhada no CATIA e feita também em Nylon. O resultado foi o CAD e a peça mostrados nas Figuras 36 e 37.

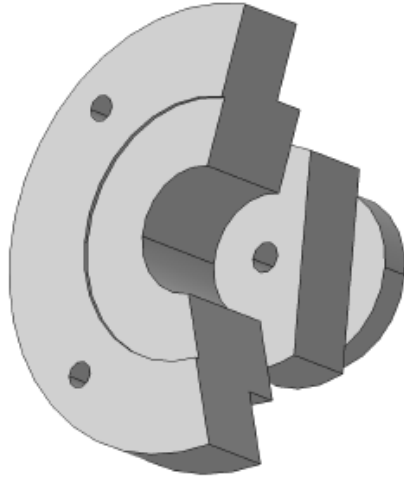


Figura 36. CAD suporte de eixo do motor de partida.



Figura 37. Suporte de eixo do motor de partida.

Com o intuito de deixar o projeto o mais compacto possível, optou-se por fabricar um tanque de combustível, no modelo do desenho técnico da Figura 38, sob medida em vez de utilizar um tanque grande já fabricado, com capacidade aproximada de 7 litros. O material utilizado foram chapas de aço inoxidável 304.

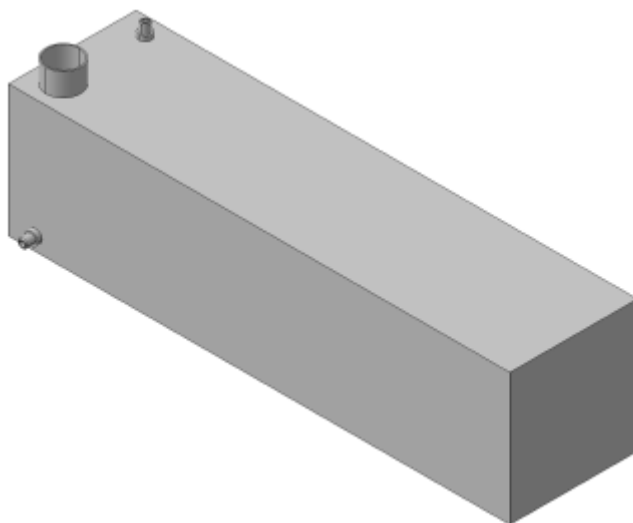


Figura 38. Desenho técnico do tanque de combustível.

Também foi usinada uma tampa em alumínio para o tanque de combustível. A Figura 39 mostra o tanque fabricado, e as Figuras 41 e 42 detalham a tampa do tanque de combustível.



Figura 39. Tanque de combustível fabricado.



Figura 40. Desenho técnico da tampa do tanque de combustível.



Figura 41: Tampa do tanque de combustível.

Os bicos do tanque de combustível, Figura 42, foram fabricados no torneamento interno e externo em aço inoxidável 304, com um formato que possibilitasse sua soldagem ao tanque e evitassem que as mangueiras se soltassem com facilidade.



Figura 42. Bico do tanque de combustível.

5.1.4 COMPONENTES NECESSÁRIOS À PARTIDA DO MOTOR

Depois da montagem e acoplamento do motor ao suporte, teve início a etapa de fixação dos elementos necessários à partida do motor. Sendo eles:

- Motor de partida;
- Módulo de ignição;
- Bobina;
- Bateria, e;
- Botões de comando.

O motor de partida utilizado não foi o original do BR-800, pois este encontrava-se com defeito. Utilizou-se o motor de partida de um VW fusca, que foi parafusado a mesma chapa onde se encontra fixado o motor, por meio das peças fabricadas, mostradas nas Figuras 33 e 36, e parafusos, podendo ser facilmente retirado caso necessário.

Já o módulo de ignição do BR-800 é um sistema exclusivo. Opera através de um sensor magnético disposto no volante do motor, com seu circuito magnético realizado por meio de dois pequenos magnetos de Alnico 8. Um dos magnetos está posicionado de forma que o sensor receba o pulso de controle da ignição a 0° enquanto que o outro defasado de 16° será recebido através de uma chave ON-OFF de vácuo, colocada convenientemente no carburador de forma que numa determinada situação de vácuo o módulo possa reduzir ou avançar a centelha (ponto que ocorre o início da combustão), normalmente antes do ponto morto superior, tendo em vista que a velocidade de propagação da chama é finita.

Certa dificuldade foi encontrada para descobrir qual a função de cada uma de suas saídas, tendo sido necessária à sua desmontagem. Dentro dele, encontravam-se as informações necessárias, como qual saída seria ligada a bateria, vácuo, dentre outras.

A bobina de ignição tem a função de transformar a tensão do sistema de alimentação de veículo, que normalmente varia entre 12 e 14 V em alta tensão, que será conduzida até as velas, sendo convertida na centelha que dará início a combustão. Isso ocorre, pois, a corrente recebida pelo circuito primário vinda do sistema de alimentação gera uma variação do fluxo magnético da bobina, que induz uma tensão no secundário. É esta tensão que gera a centelha nas velas (NGK, 2017).

Botões de acionamento foram instalados para que a partida fosse controlada.

5.2 PROJETO E FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES DO GERADOR ELETROMAGNÉTICO

A segunda grande etapa do projeto foi a fabricação dos componentes do gerador. Como solução mecânica para o acoplamento entre gerador e motor, foi projetado um conjunto bi-flangeado cujos elementos constituintes passamos a descrever. O desenho técnico de cada componente encontra-se anexado ao apêndice deste trabalho.

- Acoplamento do eixo;
- Parafusos de fixação do encaixe do eixo;
- Prato de fixação do toróide;
- Carretel de enrolamento do toróide;
- Toróide;
- Molde do enrolamento;
- Alojamento do rolamento traseiro e dianteiro;
- Tubo de fixação dos alojamentos;
- Flange do conjunto gerador;
- Flange do rotor;
- Rotor;
- Centro cônico do eixo;
- Eixo;
- Porca do eixo.

No suporte do motor foi deixado uma abertura circular, mostrada na Figura 43, por onde é encaixado o eixo do gerador.



Figura 43. Suporte do motor, com abertura para encaixe do eixo.

5.2.1 ACOPLAMENTO DO EIXO

Para fixar o eixo, foi usinada em aço SAE 1020 a peça mostrada na Figura 44.



Figura 44. Encaixe do eixo.

É apoiada diretamente no volante do motor por buchas de borracha, proporcionando um acoplamento com 2 graus de liberdade, onde as borrachas servem para amortecimento de vibrações e golpes inerciais que possam danificar o virabrequim do motor, que por ser de ferro fundido não possui grande resistência a impactos deste tipo. As engrenagens do eixo são encaixadas, de modo que quando o volante do motor gira, gira também o eixo do gerador.

5.2.2 PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DO ENCAIXE DO EIXO

O suporte do eixo é preso por parafusos feitos a partir de uma barra de aço sextavada, que inicialmente tinham o formato da Figura 45, mas foram mudados para o da Figura 46, de modo a ser possível encaixar uma borracha no parafuso, para evitar folgas.



Figura 45. Primeiro modelo do parafuso de fixação do encaixe do eixo.



Figura 46. Parafuso de fixação do encaixe do eixo.

5.2.3 PRATO DE FIXAÇÃO DO TORÓIDE

O prato de fixação do toróide, Figura 47 e 48, foi produzido em aço ASTM A26 e possui ao todo 128 furos, 8 de fixação do prato e 120 necessários à refrigeração. Estes furos foram feitos em um centro de usinagem Romi D600, e seu código G de furação está anexado ao apêndice. Como visto na Figura 45 do CAD, foi feito um rebaixo no prato de modo a encaixar o toróide durante a colagem.

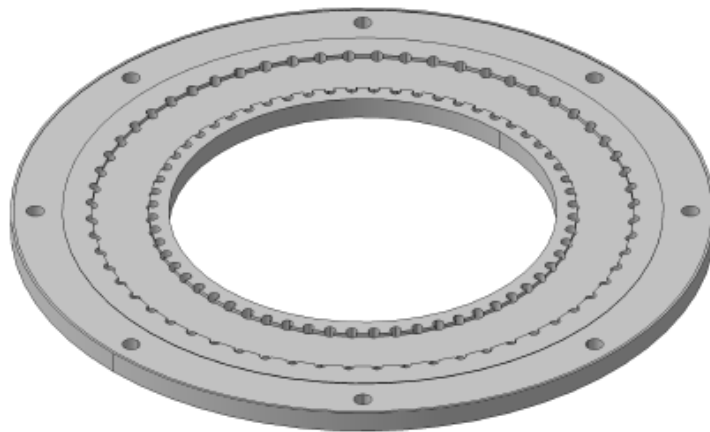


Figura 47. CAD do prato de fixação do toróide.



Figura 48. Prato de fixação do toróide.

5.2.4 CARRETEL DE ENROLAMENTO DO TORÓIDE

Como o processo de enrolamento do toróide se deu de forma manual, para que este fosse enrolado mais precisamente, foi projetado e construído um carretel para o enrolar, em MD F e compensado, como mostrado na Figura 48 e 50.

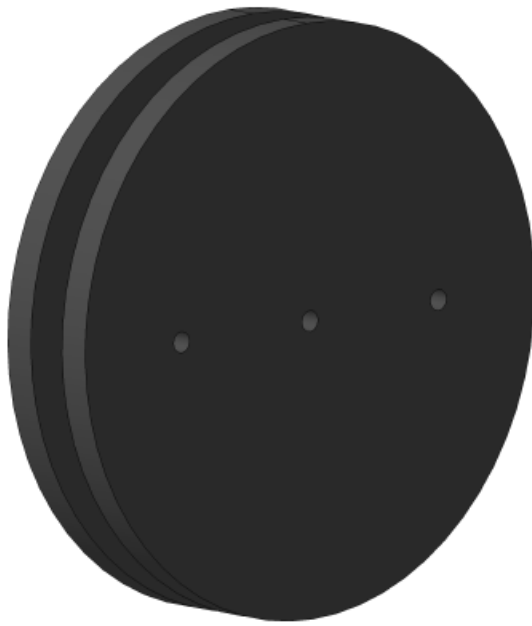


Figura 49. CAD do carretel montado.



Figura 50. Carretel de enrolamento do toróide.

5.2.5 TORÓIDE

O toróide foi feito a partir de uma lâmina de aço silício de grãos orientados, utilizado em transformadores e geradores especiais, que apresentam excelentes propriedades, com perdas magnéticas baixas e elevada permeabilidade magnética. Sua perda típica é de 1 W/kg.T

e sua espessura varia de 0,23 a 0,35 mm (Brasil, 2017). Abaixo a Figura 51 mostra o processo de enrolamento.



Figura 51. Processo de enrolamento do toróide.

Pode se observar na Figura 51 que foi fabricado um carretel maior, onde foi colocada toda a lâmina de aço silício, então, manualmente, foi sendo enrolado o toróide no carretel menor.

Para colagem das lâminas, foi feita uma resina a partir dos seguintes componentes:

- Araldite® LY 1564 BR/REN® HY 150: É um sistema de laminação, que possibilita o uso contínuo a 150 °C. A mistura possui baixa viscosidade, alta capacidade de umectação, longo tempo de uso, boa aderência a diversos substratos e ótima resistência mecânica, química e térmica (MAXEPOXI, 2005). Abaixo na tabela 1, estão as propriedades desta mistura.
- Sílica pirogênica AEROSIL® 200: Agente espessante para vários fluídos de baixa viscosidade, responsável pelo aumento da viscosidade de um líquido sem alteração de suas propriedades (Aerosil, 2017).

Tabela 1. Propriedades da mistura (Fonte: MAXEPOXI, 2010).

Análise	Método	Valores
Proporção de mistura em peso		100:15
Tempo de Uso 25°C (min)		70
Dureza Shore	ASTM D-2240	80 - 90
T _g , (°C)	DIN 51005	140 – 145
Resistência à Tração (N/mm ²)	ASTM D-638	25,64
Resistência à Flexão (N/mm ²)	ASTM D-790	50,96
Resistência à compressão (N/mm ²)	ASTM D-695	169,21

Foram misturados 50 ml do ARALDITE® LY 1564 BR, 7,5 ml do REN® HY 150 BR e aproximadamente 3 colheres de sopa de AEROSIL® 200. A mistura foi misturada até ficar completamente homogênea, ficando como mostra a Figura 52.

**Figura 52.** Resina pronta para aplicação.

A resina foi aplicada com um pincel, como mostrado na Figura 51. Como foram feitos dois toróides, todo o processo foi repetido novamente, tendo estes ficado conforme a Figura 53.



Figura 53. Toróide.

Para retirar as irregularidades decorrentes da aplicação da resina, foi necessário levar o toróide ao torno para realizar um faceamento, contudo, durante o processo, acabou ocorrendo delaminação do toróide. Afim de solucionar este problema, foi amarrada uma tira de kevlar ao seu redor. O kevlar destaca-se por apresentar importantes propriedades, como a resistência a corrosão e ao calor, baixo peso, elevado módulo de elasticidade, grande resistência ao impacto e elevada resistência mecânica, sendo mais resistente que o aço por unidade de peso. Depois de amarrado o kevlar, foi possível facear o toróide sem que este delaminasse.

Em seguida, foram feitas 60 cavas no toróide por fresamento, por onde passam as bobinas. Na Figura 54, um CAD mostra o desenho do toróide ao ser fresado.

Para fazer estes cortes, foi utilizada uma fresa, construída para executar este serviço. O processo de corte consiste basicamente em apoiar o toróide sobre um disco com formato semelhante ao de uma engrenagem, com 60 dentes. O toróide e o disco são parafusados à fresadora através de uma chapa de aço e uma trava, tensionada por uma mola, é colocada em um dos dentes do disco. Girando uma manivela, um fuso faz com que a peça se mova para frente, passando pelo disco de corte da fresa. Para passar para o próximo corte, muda-se a trava para outro dente do disco, de modo que seja mantida a mesma distância entre os cortes. A fresadora conta ainda com um sistema de refrigeração a água intermitente sobre o corte. Por tratar-se de um processo manual, a execução das 60 cavas demanda bastante tempo. Abaixo na Figura 55, pode ser observado o sistema descrito acima.

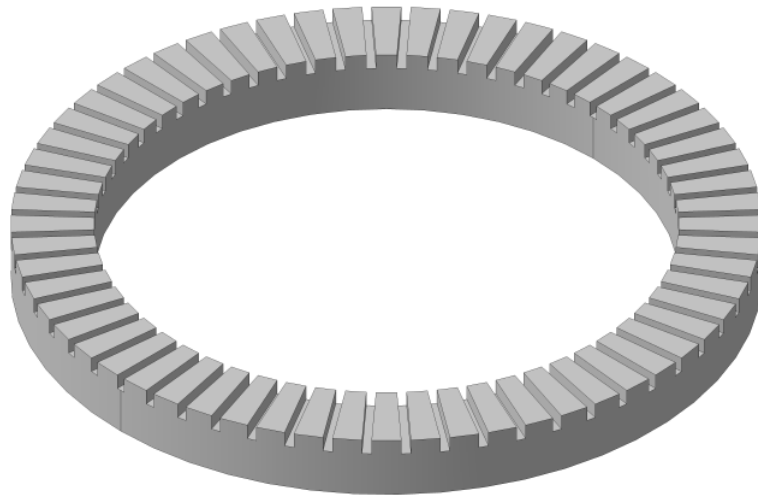


Figura 54. CAD do toróide após ser fresado.



Figura 55. Toróide sendo cortado na fresa.

Depois de finalizados os cortes, o toróide foi faceado, deixando sua superfície livre de irregularidades e de ferrugem, Figura 56.

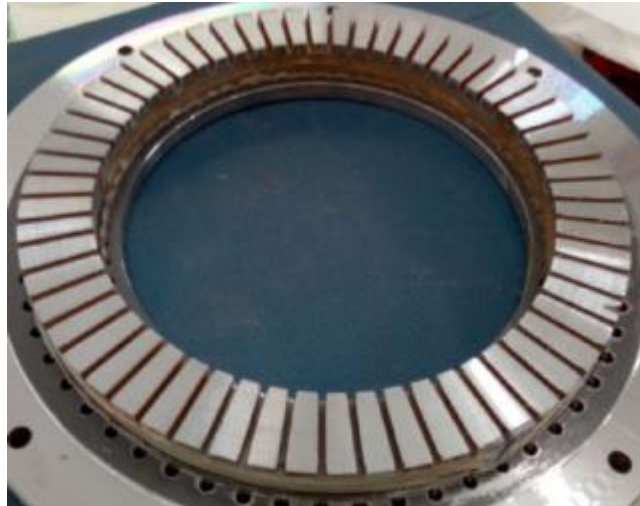


Figura 56. Toróide depois de cortado e faceado.

Para que durante a moldagem das bobinas nas cavas do toróide não ocorresse o desgaste do esmalte isolante do fio, as extremidades das cavas foram desbastadas com auxílio de uma micro retífica e de limas agulha.

5.2.6 MOLDE DO ENROLAMENTO

Para fazer as bobinas do estator, foi encontrada uma dificuldade que era como fazer sua moldagem, sem que estas sofressem desgaste e causassem curto no gerador. Inicialmente tentou-se moldar as bobinas manualmente nas cavas do toróide, onde mesmo após o desbaste destas, ocorreu o colapso do isolamento do fio.

Com o intuito de moldar a espira sem ocorrência de desgaste, foi projetado um molde, cujo CAD é mostrado na Figura 57. A peça foi produzida em MDF, em uma router cnc, e pode ser observada na Figura 58.

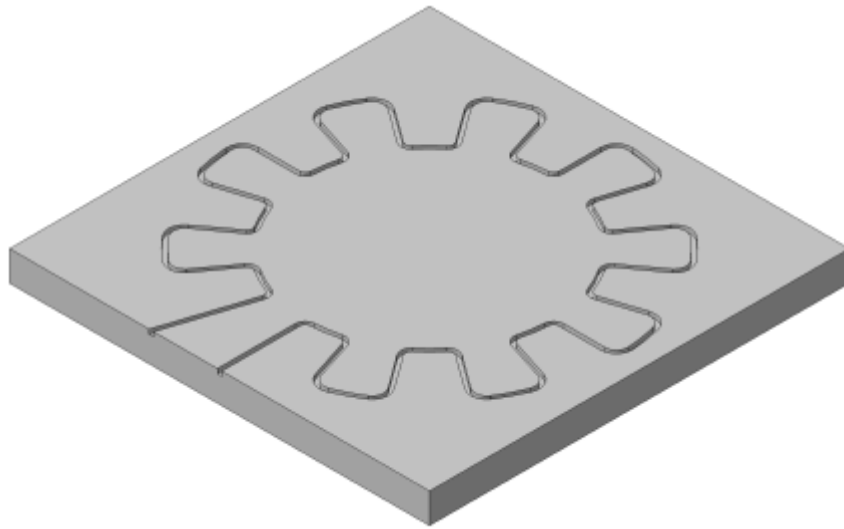


Figura 57. CAD do molde do enrolamento.

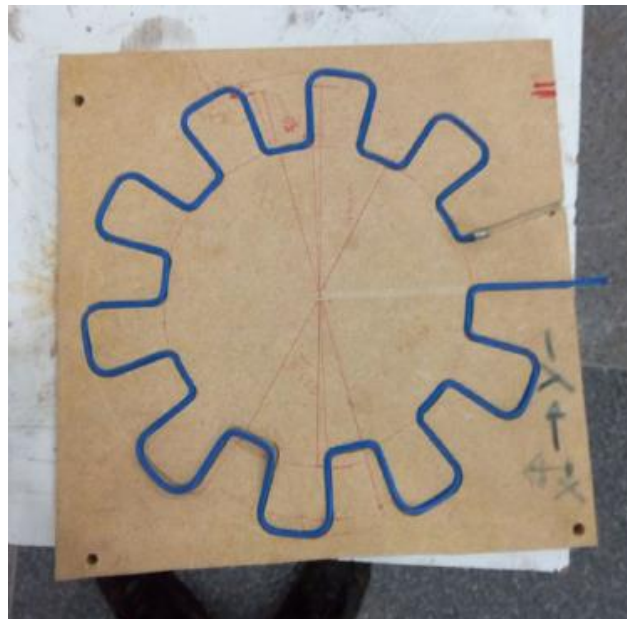


Figura 58. Molde do enrolamento.

As bobinas produzidas, Figura 59, ficaram bem moldadas, tendo o molde facilitado bastante o trabalho. Contudo, durante o encaixe das bobinas, ocorreram algumas interferências que serão explicadas no capítulo 7.



Figura 59. Bobinas as feitas no molde.

5.2.7 ALOJAMENTOS DOS ROLAMENTOS

Para serem colocados os rolamentos por onde passa o eixo, foram usinados dois alojamentos em aço SAE 1045, um dianteiro onde ficará um rolamento de esferas duplo de contato angular, responsável pela exata fixação do conjunto eixo/rotor quanto a deslocamento axial e radial e um traseiro com um rolamento de esferas simples. Abaixo na Figura 60 e 61, tem-se respectivamente o CAD dos alojamentos.

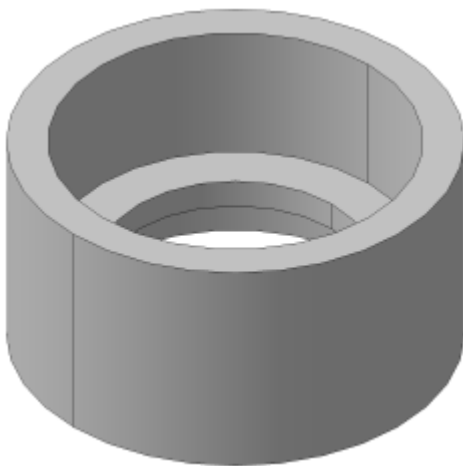


Figura 60. Alojamento do rolamento dianteiro.

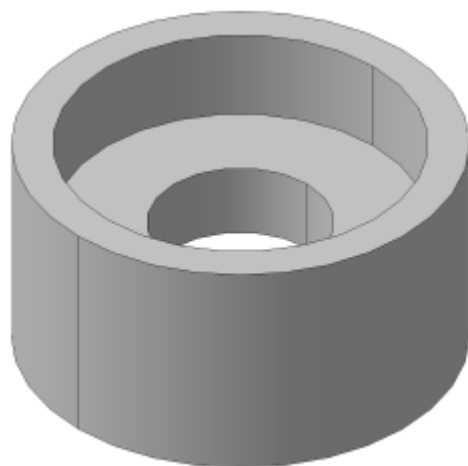


Figura 61. Alojamento do rolamento traseiro.

Na Figura 62, pode ser observado como ficou após usinagem, o alojamento do rolamento dianteiro.



Figura 62. Alojamento do rolamento dianteiro.

Os alojamentos foram feitos com interferência para que os rolamentos ficassem encaixados sem folga. Foi usada uma prensa hidráulica para encaixá-los aos alojamentos, e em seguida, a borda destes foi puncionada para assegurar o travamento.

5.2.8 TUBO DE FIXAÇÃO DOS ALOJAMENTOS

O tubo de fixação dos rolamentos é um tubo schedule 40 ASTM sem costura, mesmo modelo que é utilizado em redes de incêndio. Na Figura 63, é mostrado como ele é encaixado aos alojamentos.



Figura 63. Tudo de fixação encaixado no alojamento.

5.2.9 FLANGE DO CONJUNTO GERADOR

O flange é o elemento responsável pela união de dois componentes. Para acoplamento do conjunto gerador ao motor, foi desenvolvido um flange em aço ASTM A26 com 4 furos de fixação, feitos na Romi D600, para ser fixado a chapa que segura o motor. Na Figura 64 é apresentado o flange com o alojamento do rolamento já encaixado a ele.



Figura 64. Flange do conjunto gerador com alojamento do rolamento dianteiro acoplado.

5.2.10 FLANGE DO ROTOR

O flange do rotor, é o responsável por conectar o rotor ao eixo. O flange desenvolvido em aço ASTM A26, possui 6 furos, também feitos na Romi D600, onde posteriormente foram colados parafusos, onde o rotor é encaixado e travado. Abaixo na Figura 65, é mostrado o flange do gerador sem os parafusos e na Figura 66 com os parafusos de fixação do rotor.



Figura 65. Flange do rotor.



Figura 66. Flange do rotor com parafusos de fixação.

5.2.11 CENTRO CÔNICO DO EIXO

Para conectar o flange do rotor ao eixo, foi feita uma peça em aço SAE 1045 com centro cônico, Figura 68, que foi encaixada ao flange com uma prensa hidráulica. Esse centro cônico encaixa-se também ao eixo do gerador, que também possui a ponta cônica.

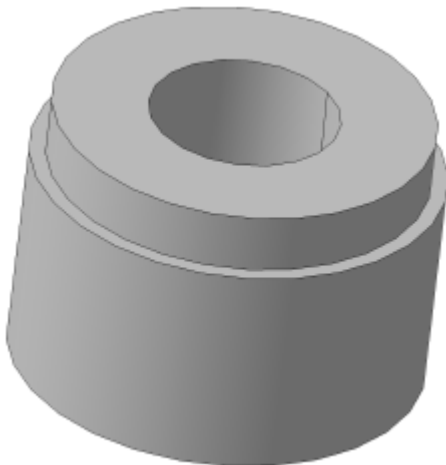


Figura 67. CAD do centro cônico do eixo.

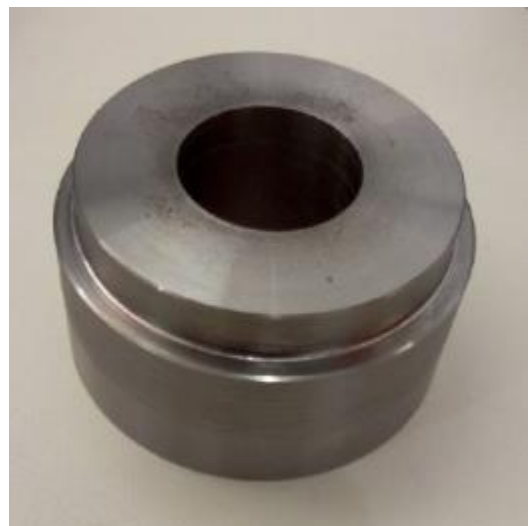


Figura 68. Centro cônico do eixo.

5.2.12 EIXO

O eixo do gerador é o componente responsável por transmitir a rotação do volante do motor ao rotor. Foi feito em aço SAE 8640, pertencia originalmente a árvore de câmbio de um Toyota Bandeirante. Foi destemperado e usinado de modo a ter a extremidade cônica para encaixar-se no centro cônico preso ao flange do rotor. Além disso, tem a ponta rosqueada, para travar o flange do rotor por meio de uma porca, produzida com esta finalidade, como mostrado na Figura 69.



Figura 69. Eixo.

5.2.13 ROTOR

O rotor, constituído de peça em alumínio fundido com forma e elementos de centragem e fixação padrão aeronáutico (Avco Lycoming) que foi desenvolvido como gerador/motor de partida para motores lycoming O-235 a O-360, contém 20 ímãs de neodímio colados com JB weld. A peça foi retrabalhada e isolada em ambas as faces com tecido de fibra de vidro 36 g/m² e resina epóxi LY 1564 e HY 150, melhorando a fixação do conjunto magnético e dando melhores condições a suportar vibrações que possam ser transferidas pelo motor, bem como a proteção a elementos como óleo, fuligem, etc.

O aproveitamento desta peça foi fundamental para finalização da bancada devido à dificuldade de importação dos ímãs no que diz respeito a preços de frete e impostos. O CAD do rotor é apresentado na Figura 70, e a peça fabricada, já com os ímãs, na Figura 71.

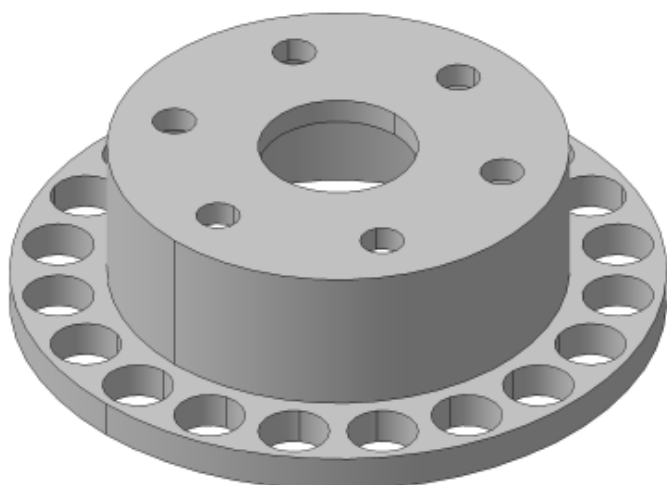


Figura 70: CAD do rotor.



Figura 71: Rotor.

4.3 MONTAGEM DO GERADOR ELETROMAGNÉTICO

Depois de usinadas as peças, começou o processo de montagem do gerador. Foram montadas as peças separadamente e por último, o sistema completo foi acoplado ao motor.

As primeiras peças a serem conectadas foram os toróides aos pratos de fixação, que juntos formam o estator, por meio de colagem. Antes de qualquer processo de colagem, é de suma importância que sejam retirados todos os resíduos de óleo das peças.

Primeiramente foram limpas com thinner, porém ainda restaram alguns traços de óleo. Foi utilizado então Master Clean em pó, que retirou todo o óleo das peças definitivamente.

Para colar, foi utilizado o adesivo epóxi ARALDITE® AV 138 BR e o endurecedor HV 998. É um epóxi resistente ao calor e ao ataque químico em forma de pasta. Este bi-componente é um tixotrópico (cuja viscosidade se altera de acordo com o tempo) de cura ambiente, que possui alta resistência mecânica, química e térmica, possuindo inclusive homologação para aplicações aeronáuticas. É adequado portanto à colagem de componentes plásticos e metais que podem estar expostos a temperaturas elevadas e ambientes agressivos (MAXEPOXI, 2008).

Foi preparada então a mistura, obedecendo a proporção de 100 de resina para 40 de endurecedor. Foi passado o epóxi no prato e depois de alojado o toróide, foram colocados pesos no conjunto, como pode ser observado na Figura 72.



Figura 72. Pesos sobre o estator.

Depois de colado, o estator ficou como mostrado na Figura 73.



Figura 73. Estator depois da colagem.

O estator em seguida foi resinado com a mesma resina descrita no item 6.5, mas sem a adição de aerossil. Depois da secagem, ocorreu um problema que foi a formação de uma crosta

dentro das cavas do toróide, que impossibilitaria a passagem do enrolamento. Foi utilizada então uma micro retífica para retirada da resina das cavas.

Em seguida, se deu o processo de enrolamento das bobinas do estator. São ao todo 3 bobinas em cada estator, com 20 polos, feitas de cobre esmaltado classe 150 °C. No item 6.6 foi descrito um molde de enrolamento que seria utilizado no enrolamento, contudo, depois de enroladas as bobinas, foi encontrado um problema durante o encaixe onde elas não se encaixavam corretamente aos espaços e quando forçadas a entrar, acabavam por desgastar o esmalte do fio em alguns pontos, gerando um curto.

Optou-se então pela modelagem manual das bobinas, que se fosse feita diretamente na cava sem algum tipo de proteção, também removeria o esmalte do fio. Foram colocados então nas cavas do toróide, pedaços de manta geotêxtil Bidim, um não tecido permeável utilizado principalmente para proteção e reforço de materiais, para evitar danos ao solo e melhorias de suas propriedades. Na Figura 74, pode ser visto como foram colocados os pedaços da manta no toróide.

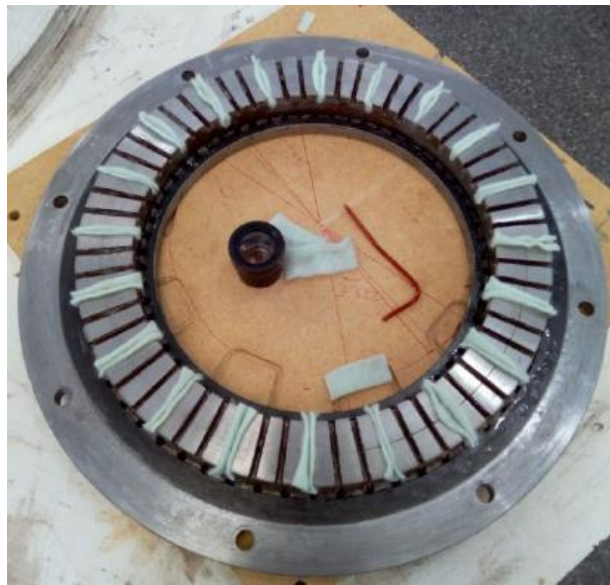


Figura 74. Estator com manta geotêxtil.

Em seguida foi colocado o fio. Este processo foi feito três vezes, resultando no toróide mostrado na Figura 75.

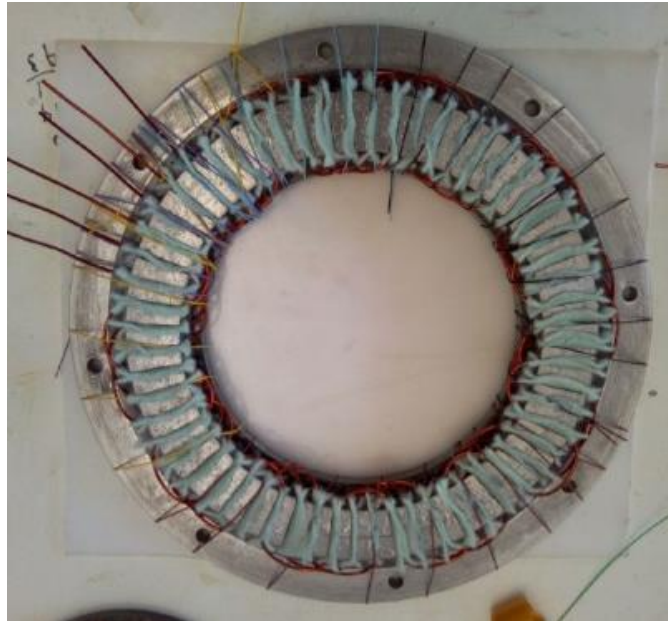


Figura 75. Estator com as três espiras.

Para que os fios ficassem alojados corretamente, foram amarrados com fibra ótica, como pode ser observado na Figura 76. O estator foi novamente resinado, o que deixou a manta geotêxtil bem sólida. Foi retirada a fibra ótica e lixado o excesso da manta, deixando a superfície da peça completamente uniforme, como mostra a Figura 76.

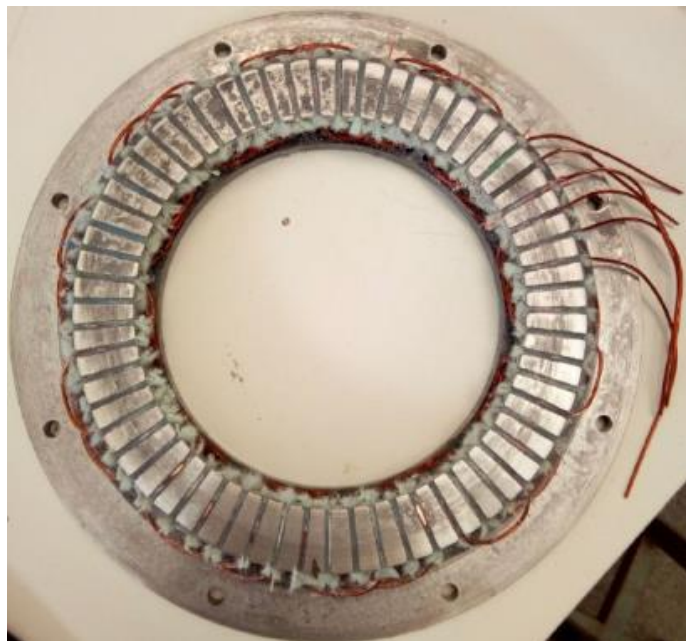


Figura 76. Estator faceado.

Foram feitos dois estatores iguais, e para fixa-los, foram usinados 8 tubos de separação em aço inox 304. Foi realizada uma pré-montagem do conjunto estator, mostrada na Figura 77 e 78.

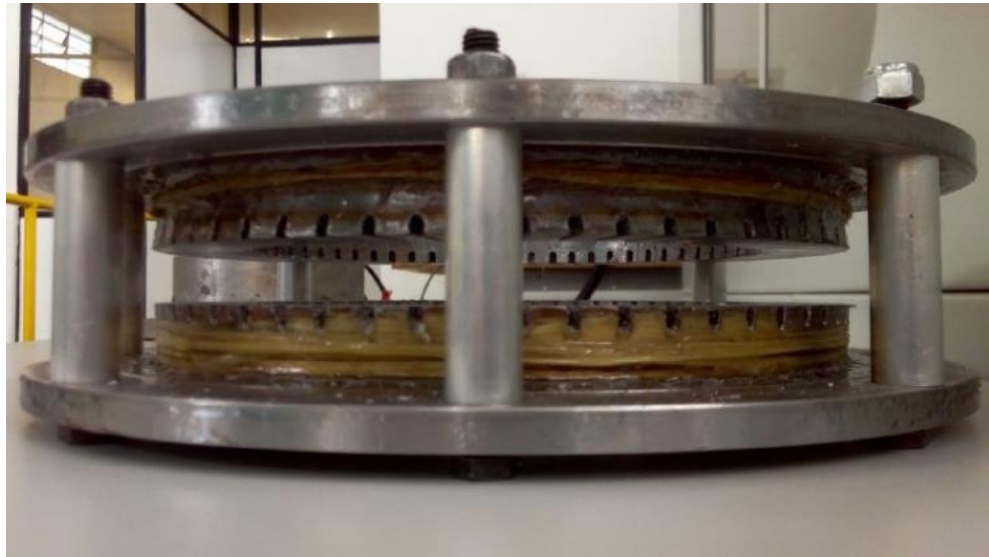


Figura 77. Vista lateral do conjunto estator.

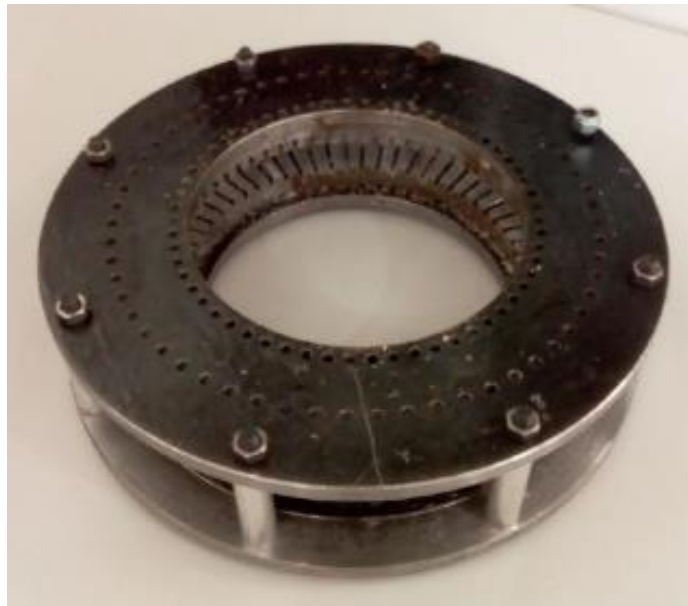


Figura 78. Conjunto estator.

Depois de finalizado o estator, foi conectado o flange do conjunto gerador ao alojamento do rolamento dianteiro duplo, através de uma prensa hidráulica. Em seguida foi acoplado ao alojamento do rolamento o tubo de fixação, também por prensagem. Depois

desses processos, as peças ficaram como mostrado na Figura 79. Para evitar riscos destas se soltarem, foram posteriormente soldadas.



Figura 79. Flange do gerador, alojamento do rolamento dianteiro e tubo de fixação depois de prensados.

Em seguida, foi prensado na outra extremidade do tubo de fixação o alojamento do rolamento traseiro. Já no flange do rotor, foi prensado o centro cônico, que é a peça que se encaixa ao eixo e é travada pela porca. Nele também foram colados, com o mesmo epóxi usado para colar os toróides aos pratos, parafusos onde o rotor se encaixa.

Foram então conectados o eixo ao flange do gerador já com os alojamentos dos rolamentos. O conjunto foi acoplado ao suporte do motor e em seguida foi encaixado o flange do rotor e travado com a porca. A Figura 80 mostra todo este conjunto integrado.



Figura 80. Flanges acoplados ao suporte.

Para montagem do estator e do rotor, foi necessária a junção das peças fora do suporte. Essa é uma etapa perigosa devido a força de atração dos ímãs, devendo ser realizada com cuidado. Para que as peças não ficassem diretamente unidas, foi colocado entre elas 8 fitas plásticas de polietileno, que davam uma medida de aproximadamente 0,5 mm, medida do gap entre os estatores e o rotor.

Na Figura 81, pode ser visto o conjunto gerador preso ao suporte e conectado ao motor, separado pela fita de polietileno roxa.



Figura 81. Conjunto gerador acoplado ao motor.

Foi necessário fazerem alguns ajustes ao suporte do motor para que o conjunto ficasse encostado perfeitamente, sem encostar em nenhuma parte. Outro problema encontrado foi quanto aos furos por onde é parafusado o flange do gerador.

Por serem feitos manualmente e não ficarem com as mesmas distâncias, quando foi instalado o conjunto gerador, o motor ficou travado. Como solução, os furos do flange do gerador foram alargados, de forma a proporcionarem folga aos parafusos para o motor não travar.

Depois de feitos todos os ajustes, o rotor ficou girando facilmente, sendo possível rodá-lo com a mão. O projeto do gerador completamente montado ficou como mostrado no CAD das Figuras 82 e 83.

A Figura 84 traz o conjunto gerador mostrado na Figura 83 em uma vista explodida com as respectivas peças. Não foram adicionados a este desenho as bobinas e os parafusos utilizados na fixação dos componentes.

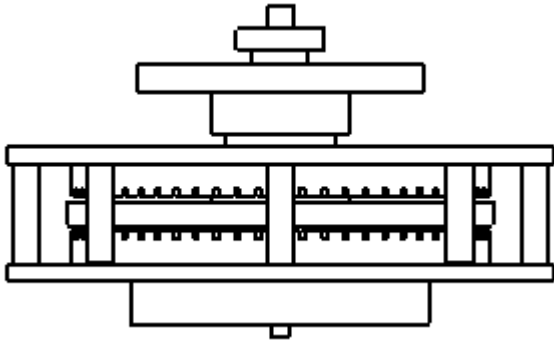


Figura 83. Vista lateral do CAD do gerador eletromagnético.

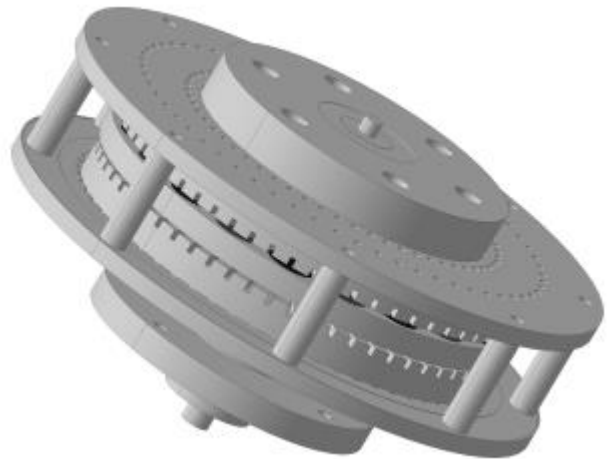


Figura 82. CAD do gerador eletromagnético.

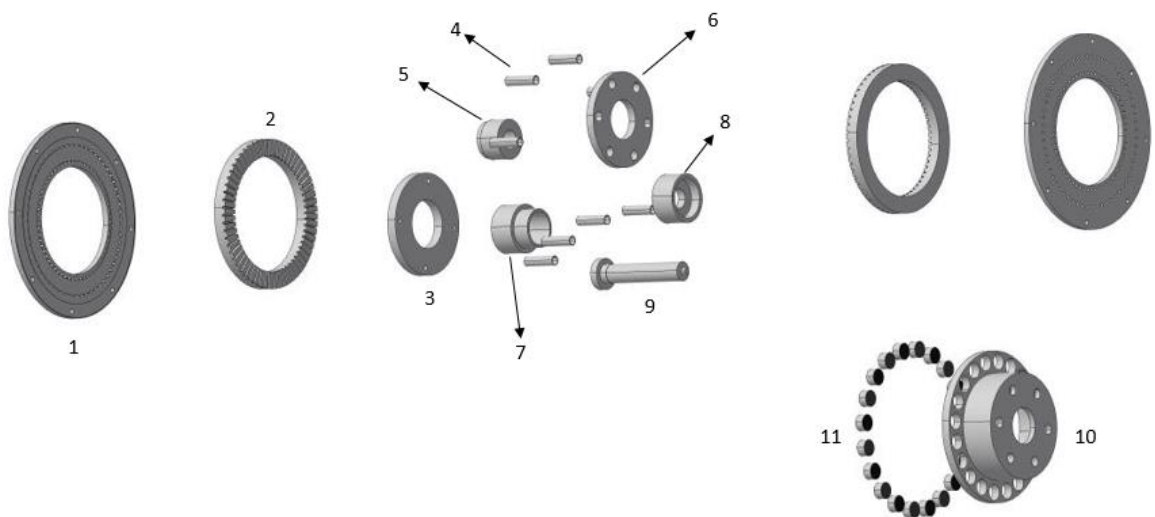


Figura 84. Vista explodida do gerador eletromagnético.

- 1: Prato de fixação do toróide;
- 2: Toróide;
- 3: Flange do conjunto gerador;
- 4: Tubo de separação dos estatores;
- 5: Centro cônico do eixo;
- 6: Flange do rotor;
- 7: Alojamento do rolamento dianteiro com tubo de fixação dos alojamentos;
- 8: Alojamento do rolamento traseiro;
- 9: Eixo;
- 10: Rotor;
- 11: Ímãs de neodímio.

5 CONCLUSÃO

A recuperação do motor do BR-800 e o desenvolvimento/construção do gerador eletromagnético foi um projeto bastante desafiador devido ao fato de envolver a aplicação de diversas áreas externas a Engenharia de Energia, embora busque primordialmente eficiência energética onde for possível com os recursos tecnológicos atuais, vislumbrando as tendências futuras, o que foi muito importante para incremento do conhecimento devido aos variados processos de usinagem onde foi possível aprender a manusear tornos, fresa, CNC e diversas outras ferramentas, além do conhecimento teórico e prático acerca dos motores de combustão e geradores.

Este trabalho deixa ainda mais evidente o potencial de produção das universidades brasileiras na aplicação dos conhecimentos na construção de produtos inovadores como o desenvolvido neste projeto, e são atividades deste tipo que devem ser mais difundidas e abordadas no ambiente acadêmico.

Os processos de produção demandaram bastante tempo devido aos empecilhos que surgiram, como compartilhamento de máquinas, alteração de medidas das peças, problemas durante a instalação e a busca por materiais e ferramentas. Um trabalho com essa dimensão teria rendido mais caso tivessem outros integrantes engajados nele, como estudantes das áreas da eletrônica e automotiva.

Algumas limitações físicas começam a partir do motor cujo projeto é bastante antigo, seja pelo trabalho com uma taxa de compressão inferior aos limites atualmente praticados e feito com materiais inferiores aos contemporâneos. Estima-se que a utilização desta disposição (bicilíndrico oposto) devidamente atualizado e com taxas de compressão para uso exclusivo com etanol e adição de turbinas deve se chegar a aproximadamente 150/160 cv com nível de eficiência bem mais elevada que os motores atuais.

A instrumentação da bancada para medições e estudos pode proporcionar ensejo a novos trabalhos de conclusão de curso. Por hora, testes de geração podem ser feitos e determinações precisas das características do conjunto podem ser implementadas nas diversas áreas de engenharia da UnB.

6 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Os pistões por serem bastante desatualizados pouco similares aos atuais, com anéis de segmentos largos que acabam por produzir um atrito maior que os utilizados hoje em dia, poderiam ser substituídos por modelos mais eficientes, menores, mais leves e com anéis de segmento mais finos. Como este projeto não visa o melhoramento do motor, mas sim a recuperação de suas características originais, optou-se por reutilizar os pistões. Contudo, esta pode ser uma proposta de trabalho futura, com o intuito de melhorar o desempenho.

O virabrequim dos modelos BR-800 recorrentemente causa problemas aos usuários, por fraturar devido à falta de apoio entre as duas bielas, então quando ocorrem as detonações, uma carga é transferida a ele causando um esforço, que gera uma fissura que depois de certo tempo pode ocasionar uma quebra. Como forma de eficientização e reparo deste defeito, o virabrequim poderia ser substituído por um de aço SAE 4340 temperado e nitretado, que permitiria maiores taxas de pressão.

Outra possível alteração seria quanto a substituição das bronzinas da biela por rolamentos, o que deixaria a biela menos suscetível a travamentos e trabalhando com o menor atrito. Além disso, poderia ser alterado o sistema carburador para injeção eletrônica.

Quanto as melhorias para o gerador: podem ser determinados o número de espiras adequadas, ajuste de *gaps* do estator e rotor para melhor rendimento, redesenho do conjunto motor-gerador de forma a eliminar acoplamentos, atritos internos do motor, estudar a possibilidade da fabricação de estatores de ferrite de alta permeabilidade e de rotores puramente magnéticos. Seria um disco de neodímio magnetizado no sentido do eixo alternadamente com número de pólos casados com a melhor eficiência do conjunto motor.

Quanto a eletrônica de potência, este tipo de gerador-motor permite trabalho com inversores sincronizados para cada fase em cada um dos estatores levando a conversão de energia a limites ainda não devidamente explorados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEROSIL. **Espessamento e tixotropia:** Sílica pirogênica AEROSIL® para resinas poliésteres insaturadas. 2017?. Disponível em: <<http://www.aerosil.com/product/aerosil/pt/industries/adhesives-sealants/effects/thickening-thixotropy/pages/default.aspx>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

ALVORADA AUTOPEÇAS. **Como funcionam os Carros Híbridos.** Disponível em: <<http://autopecasalvorada.com.br/como-funcionam-os-carros-hibridos/>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

BARAN, Renato; LEGY, Luiz Fernando Loureiro. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil.** 2010. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/1/A_BS_33_Veiculos_eletricos - historia e perspectivas no Brasil_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/1/A_BS_33_Veiculos_eletricos_-_historia_e_perspectivas_no_Brasil_P.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2017.

BITU, Felipe. **Grandes Brasileiros: Gurgel BR-800.** 2016. Revista Quatro Rodas. Disponível em: <<http://quatrorodas.abril.com.br/noticias/grandes-brasileiros-gurgel-br-800/>>. Acesso em: 27 jun. 2017.

BRAGA, Newton C.. **Lâminas ferromagnéticas para núcleos de transformadores.** 2017. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-tecnicos/artigos-diversos/7371-laminas-ferromagneticas-para-nucleos-de-transformadores-col-110>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

BRASIL, Agd do. **Aço Silício GO e GNO.** 2017. Disponível em: <<http://agddobrasil.com.br/portfolio/acos-silicios-go-e-gno/>>. Acesso em: 09 dez. 2017.

BRITANNICA, Editors Of Encyclopedia. **Étienne Lenoir: Belgian Inventor.** Disponível em: <<https://global.britannica.com/biography/Etienne-Lenoir>>. Acesso em: 23 maio 2017.

CALMON, Fernando. **Criado em 1901, Lohner-Porsche Mixte foi o primeiro carro híbrido da história.** 2011. Disponível em: <<https://carros.uol.com.br/noticias/redacao/2011/05/20/criado-em-1901-lohner-porsche-mixte-foi-o-primeiro-carro-hibrido-da-historia.htm>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros.** Brasília:2011. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/handle/10419/91332>>. Acesso em: 29 maio 2017.

COBB, Jeff. **The Three Main Types Of Hybrids Explained.** 2014. Disponível em: <<http://www.hybridcars.com/the-three-main-types-of-hybrids-explained/>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Oficina Nacional: transporte e mudança climática.** Brasília, 2009.

COPEL. **Gerador Elétrico.** 2016. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/docs/40A0E2ABD99123CF0325740C00496689>>. Acesso em: 27 maio 2017.

DARGAY, J., GATELY, D. E SOMMER, M. **Vehicle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960-2030**. Energy Journal, 2007.

DUTRA, William Tolendi. **Soldagem à arco assistida por pré-aquecimento indutivo localizado**. 2015. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Departamento de Metalurgia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em:

<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/134184/000985135.pdf?sequence=1>>.

Acesso em: 15 nov. 2017.

GURGEL, CLUBE DO. História da Gurgel Motores. Disponível em: <<http://www.gurgel800.com.br/historia/gurgelmotores.php>>. Acesso em: 27 maio 2017.

IMBASCIATI, HENRIQUE. **Estudo descritivo dos sistemas, sub-sistemas e componentes de veículos elétricos e híbridos** / Henrique Imbasciati. – São Caetano do Sul, SP: CEUN-EEM, 2012. 58p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **CO2 Emissions from Fuel Combustion**. 2013. Disponível em: <<http://www.iea.org/statistics/topics/CO2emissions/>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

LIMA, Evandro. **Injeção Eletrônica Sequencial**. INJEPRO. Disponível em: <<http://www.injepro.com/noticias/tecnologia-sequencial/>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

LOUVIGNY Y., NZISABIRA. J., DUYSINX P. - “**Analysis of hybrid hydraulic vehicles and comparison with hybrid electric vehicles using batteries or super capacitors**” - Suíça, 2008.

MAGNET4LESS. **Neodymium Magnet Product Information and Performance**. 2017. Disponível em: <<http://www.magnet4less.com/pages.php?pid=11&CDpath=1>>. Acesso em: 05 dez. 2017.

Manual de Serviços Gurgel BR-800. Rio Claro: Gurgel S.A, 1988.

Matheus Barros Silva, Victor Hugo de Sousa. **Sistemas Híbrido-Hidráulicos e Híbrido-Elétricos para geração de potência mecânica: Recuperação parcial da energia de frenagem**/ Matheus Barros Silva e Victor Hugo de Sousa). Brasília, DF, 07/2015. 103 p.

MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**. 2. ed. Guimarães: Publindústria, 2006.

MAXEPOXI. **Araldite® LY 1564 / Ren® HY 150: SISTEMA EPÓXI PARA LAMINAÇÃO RESISTENTE AO CALOR**. 2010. Disponível em: <http://www.maxepoxi.com.br/pdf/araldite_ly1564_hy150.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2017.

MAXEPOXI. **ARALDITE® AV 138 BR / Endurecedor HV 998**. 2008. Disponível em: <http://www.maxepoxi.com.br/pdf/araldite_av138_hv998.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2017.

NASCIMENTO, Bruno do; CARVALO, Edwin Kevin; TEDESCO, Paula Aline. **PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO DE GERADOR SINCRONO**. 2016. 9 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade do Estado do Mato Grosso, Mato Grosso, 2016. Disponível em:

<http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_13701pyincipio_pdf_PRINCIPIO.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2017.

NGK. **Bobinas de ignição**. 2017. Disponível em: <<http://www.ngkntk.com.br/automotivo/produtos/bobina/>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

ROCHA, Eduardo. **Teste: Chevrolet Volt recarrega as esperanças**. 2011. Disponível em: <<http://motordream.uol.com.br/noticias/ver/2011/01/24/teste-chevrolet-volt-recarrega-as-esperancas>>. Acesso em: 11 jun. 2017.

ROMERO. **O Ciclo Otto e os Motores de Combustão Interna**. PDF. Disponível em: <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/15cOtto/materiais/saiba_mais.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2017.

SADIKU, Matthew N. O.. **Elementos de Eletromagnetismo**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 678 p.

SIMÕES, Janaína. **Brasil tem uma das maiores reservas de terras raras do planeta**. 2011. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=reservas-terras-raras-brasil#.Wi63p0qnG00>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

TECNOGERA. **Você sabe o que são geradores?** 2015. Disponível em: <<http://www.tecnogera.com.br/blog/voce-sabe-o-que-sao-geradores/>>. Acesso em: 27 maio 2017.

APÊNDICE

Código g de furação do prato do toróide utilizado na ROMI D600

G17 G21 G90

G53 G0 Z0H0

T7

M6

G54 S1200 M3

G16 G0 X30 Y0

G43 H7 D7 Z10

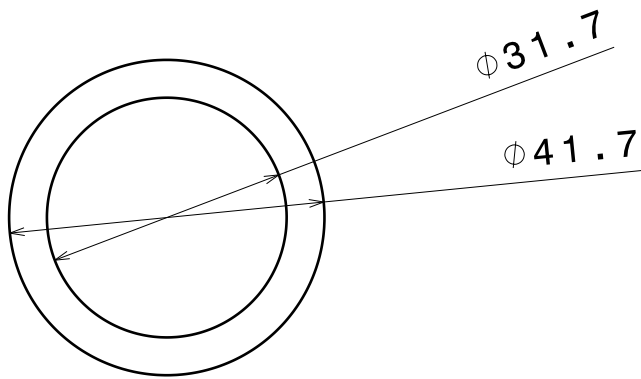
G99 G83 X30 G91

Y60 G90 R5 Q2 Z-10 F200 K60

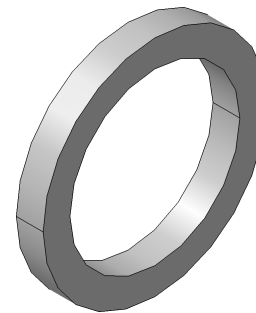
G15 G80

G53 G0 Z0 H0 M5

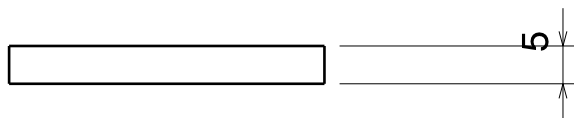
M30



Vista superior



Vista isométrica



Vista lateral

Anel do escapamento

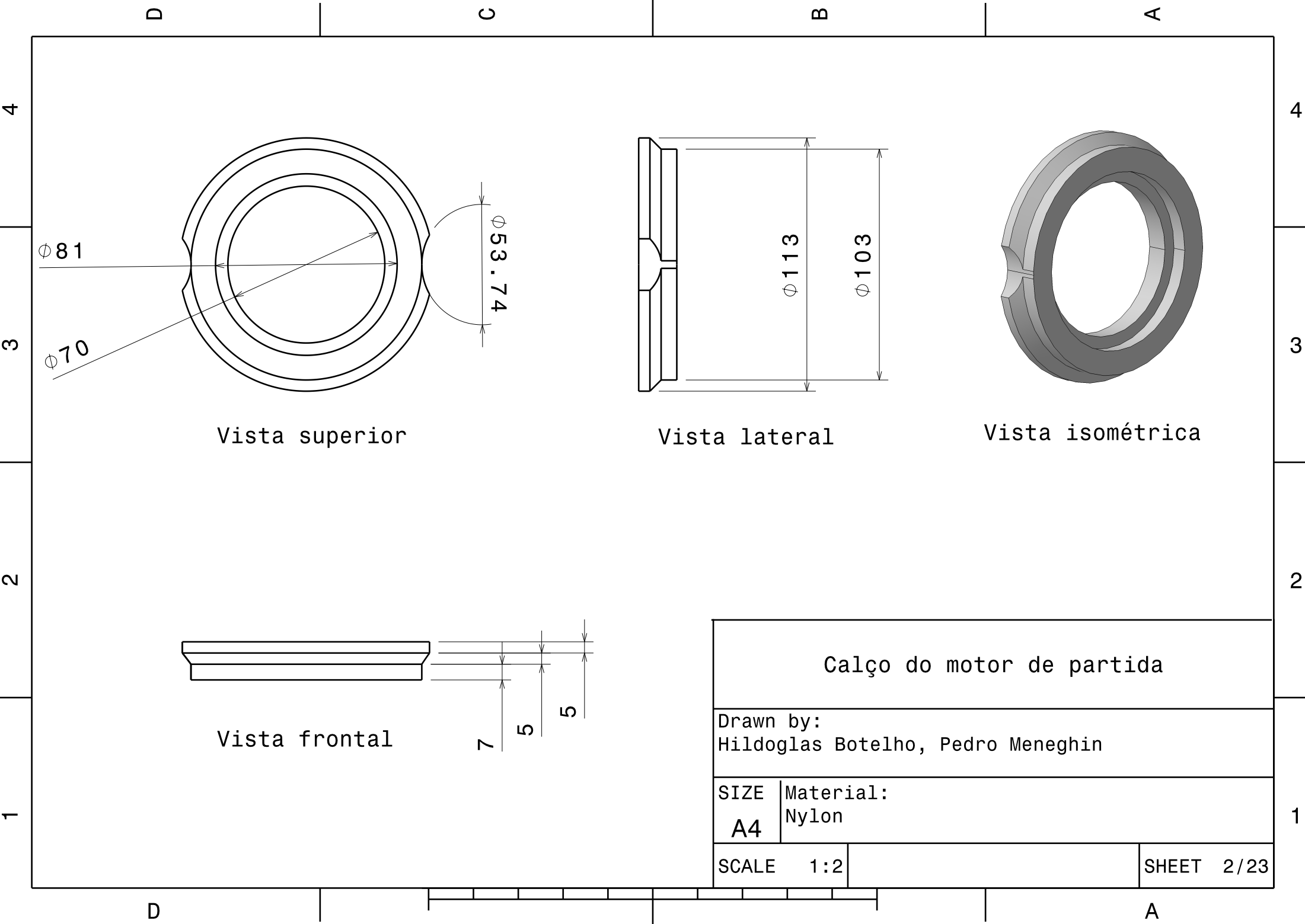
Drawn by:
Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin

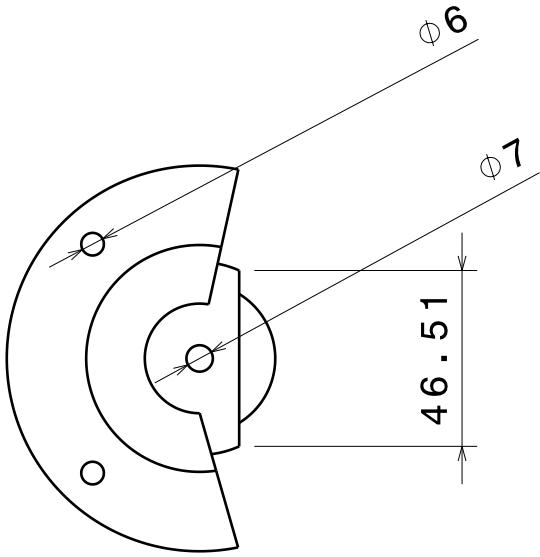
SIZE
A4

Material:
Alumínio

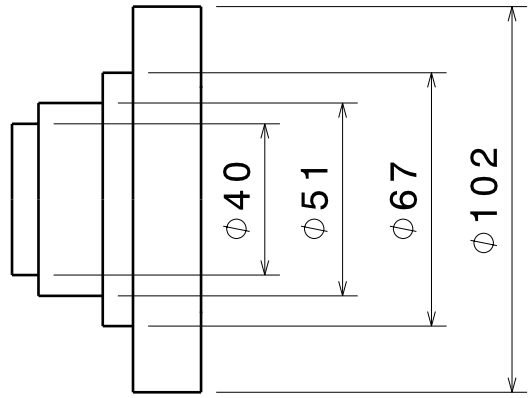
SCALE 1:1

SHEET 1/23

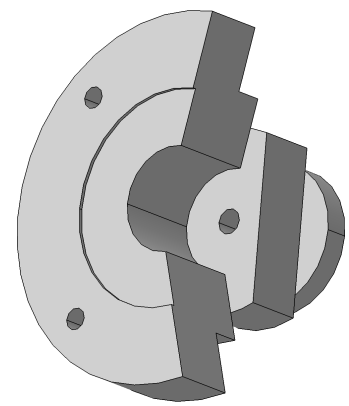




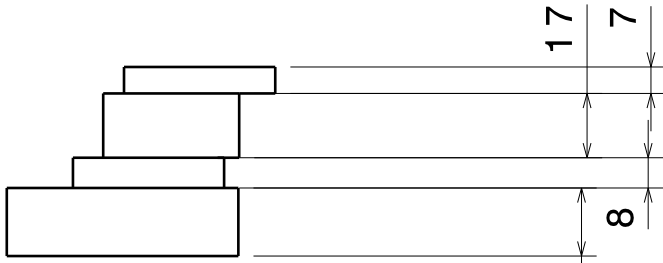
Vista superior



Vista lateral



Vista isométrica



Vista frontal

Capa de eixo do motor de partida			
Drawn by: Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin			
SIZE A4	Material: Nylon		
SCALE	1:2		SHEET 3/23

D

C

B

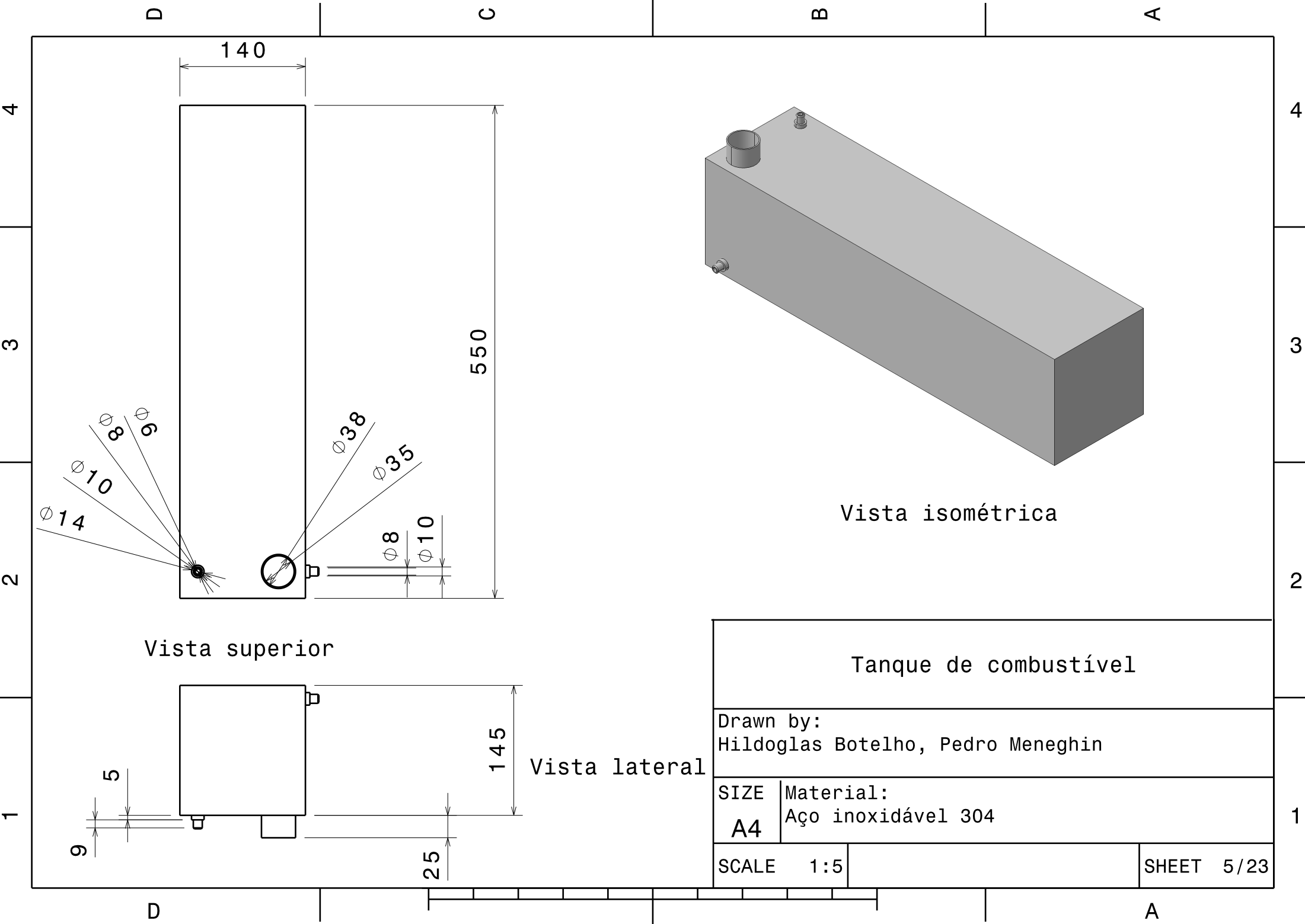
A

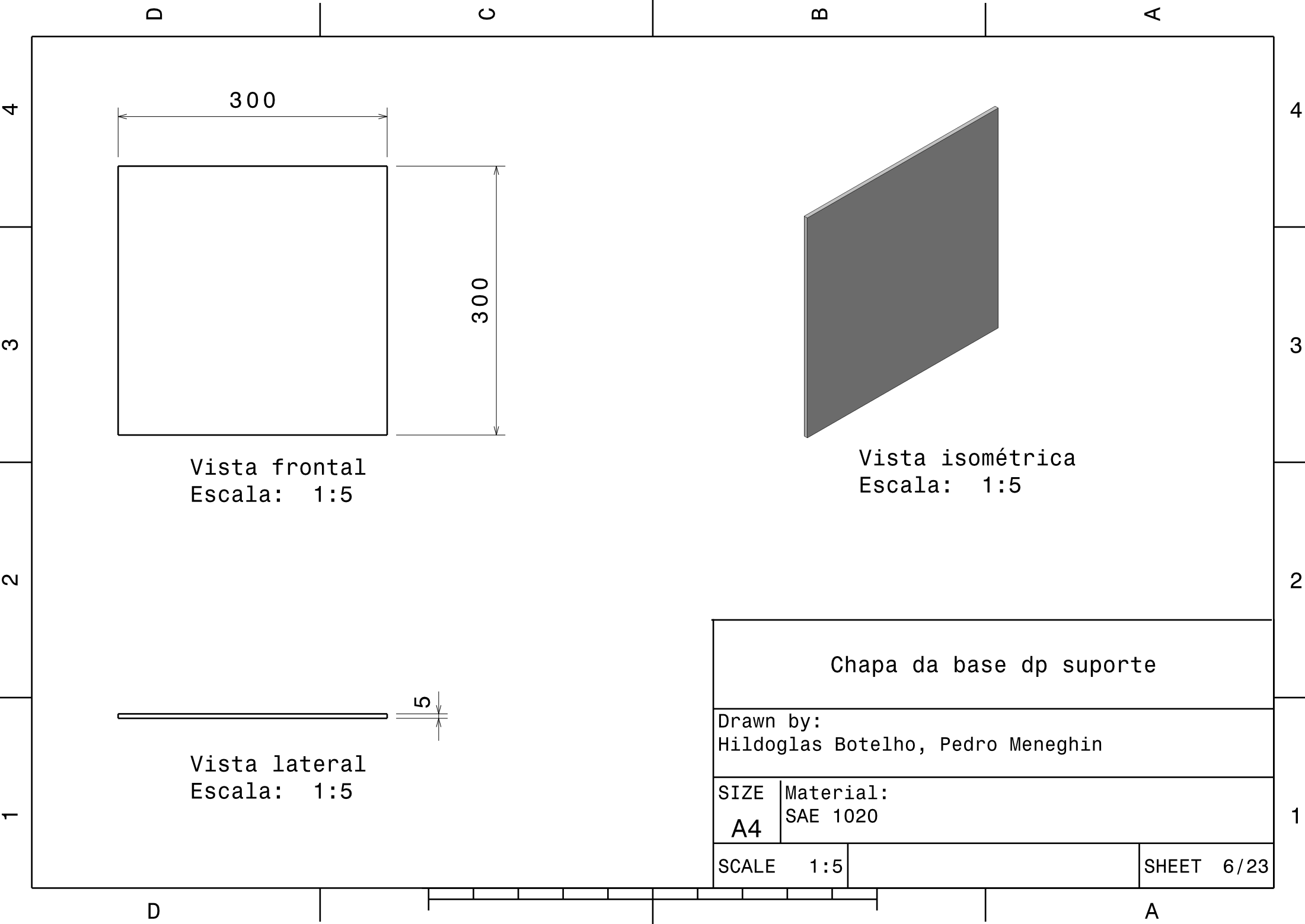
Vista superior

Vista lateral

Corte da vista frontal

Tampa do tanque de combustível			
Drawn by: Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin			
SIZE A4	Material: Alumínio		
SCALE	1:1		SHEET 4/23





D

C

B

A

4

3

2

1

4

3

2

1

300

300

Vista frontal
Escala: 1:5

Vista isométrica
Escala: 1:5

5

Vista lateral
Escala: 1:5

Chapa da base dp suporte

Drawn by:
Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin

SIZE
A4

Material:
SAE 1020

SCALE 1:5

SHEET 6/23

D

A

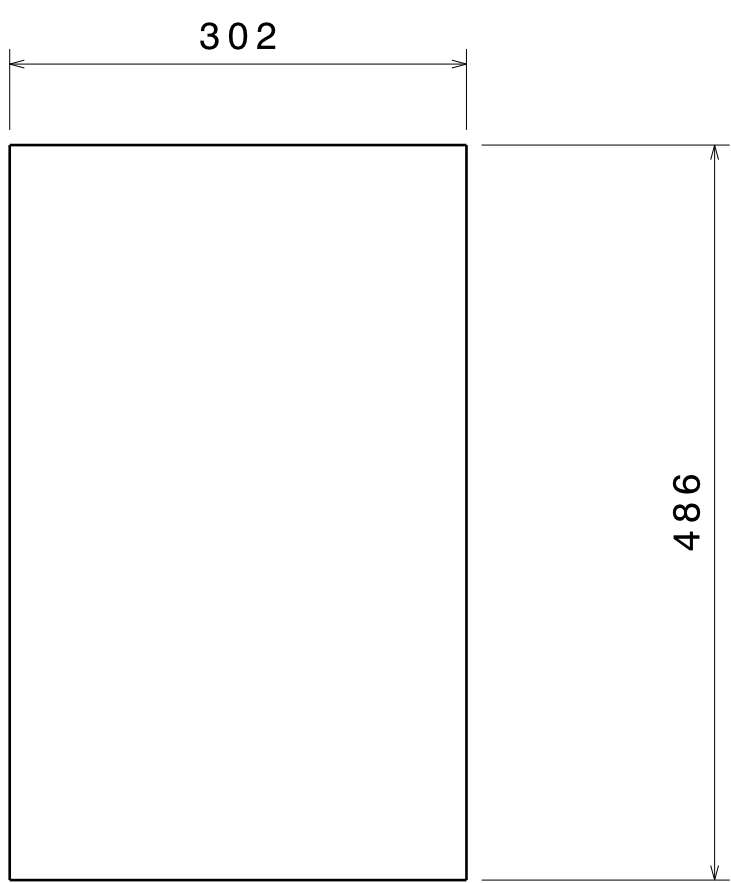
D C B A

4 4

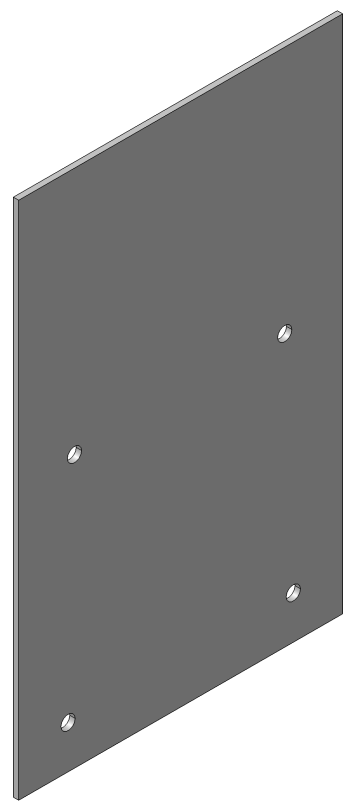
3 3

2 2

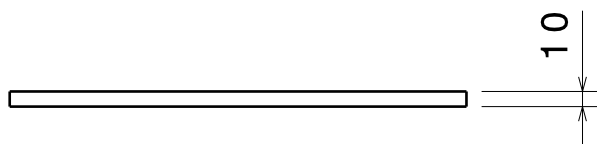
1 1



Vista frontal
Escala: 1:5



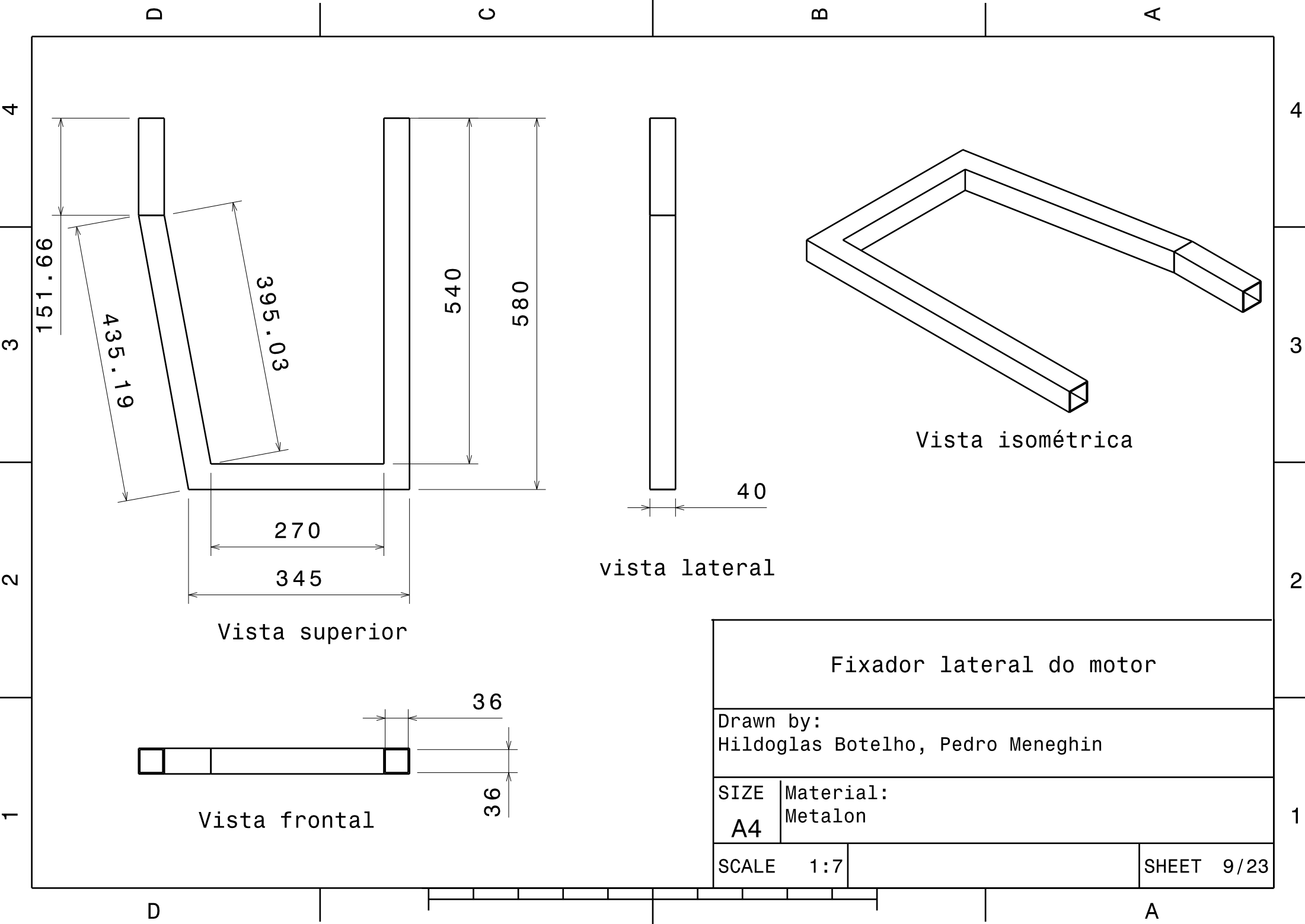
Vista isométrica
Escala: 1:5



Vista lateral
Escala: 1:5

Chapa de fixação do motor			
Drawn by: Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin			
SIZE A4	Material: SAE 1020		
SCALE	1:5		SHEET 7/23

D A



D

C

B

A

4

4

3

3

2

2

1

1

151.66

435.19

395.03

540

580

270

345

Vista superior

40

vista lateral

Vista isométrica

36

36

Vista frontal

Fixador lateral do motor

Drawn by:
Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin

SIZE
A4

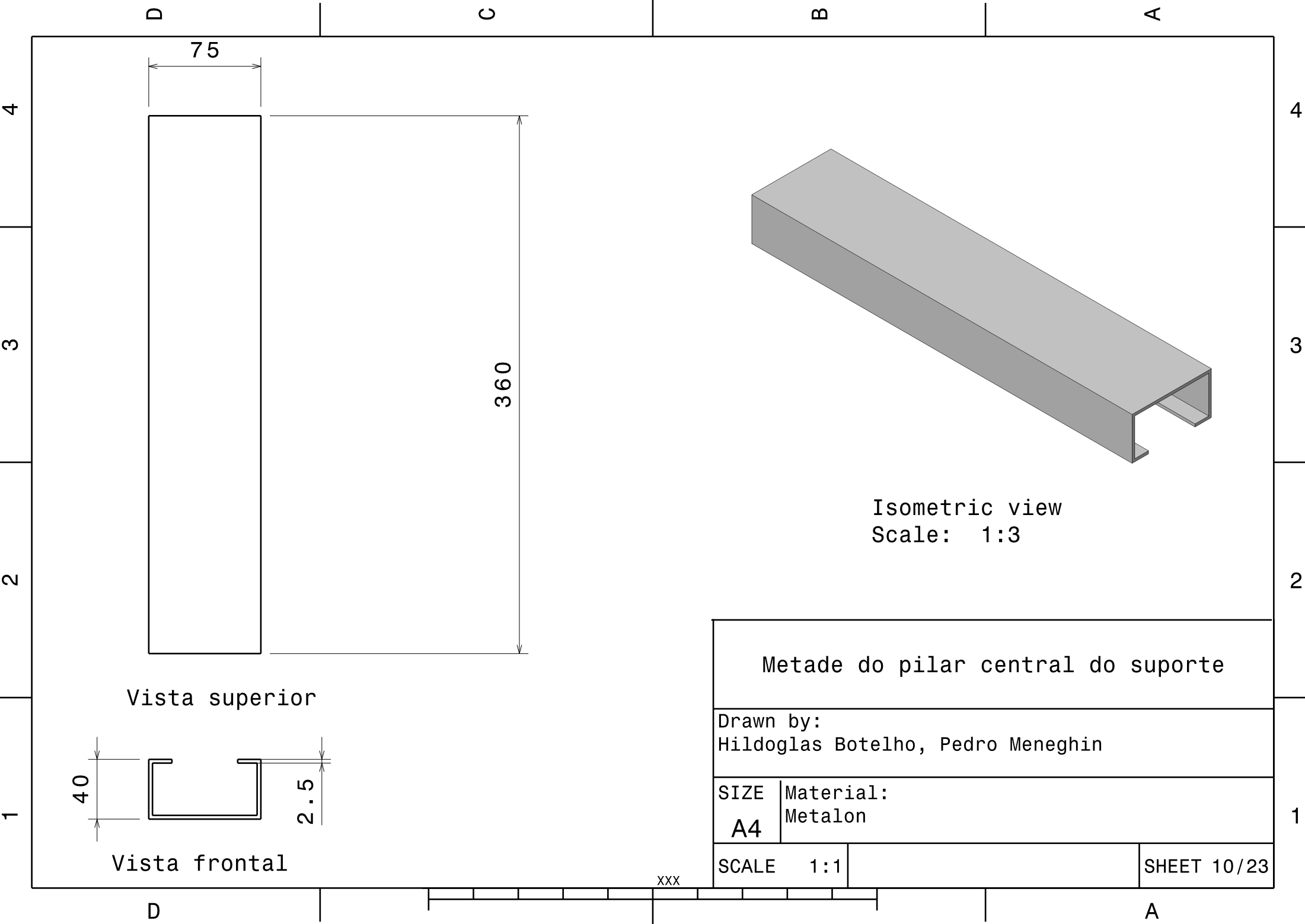
Material:
Metalon

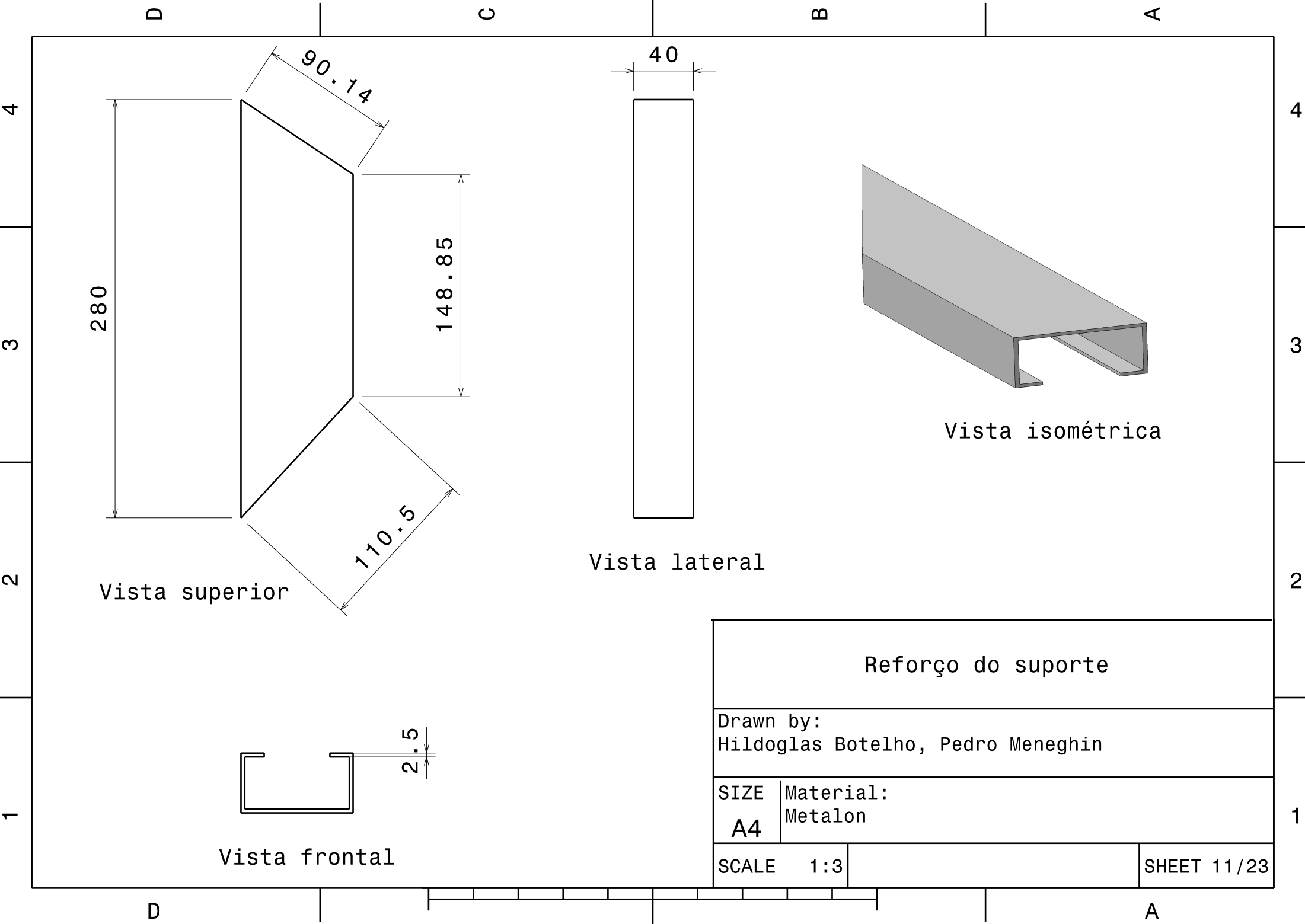
SCALE 1:7

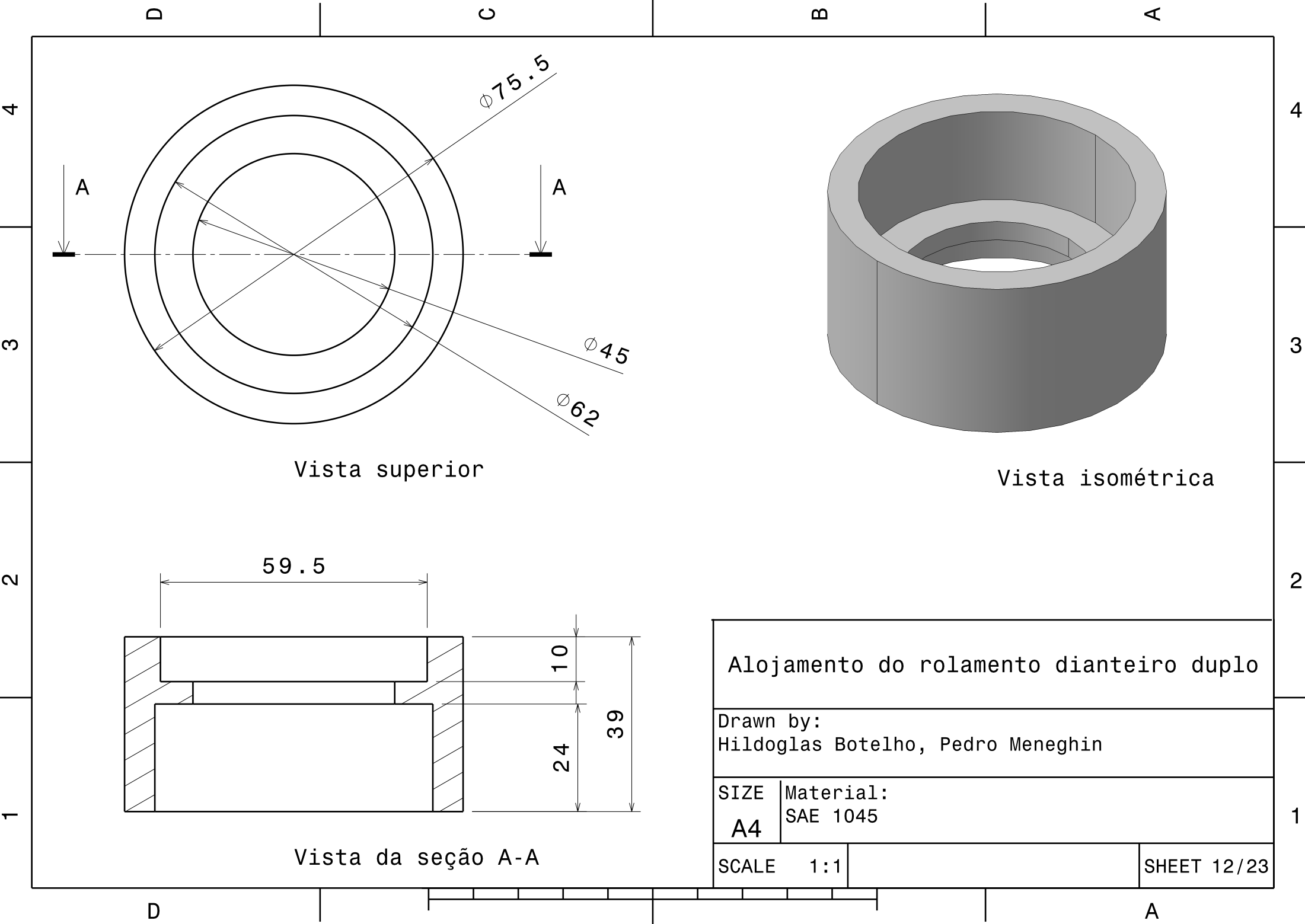
SHEET 9/23

D

A







D

C

B

A

4

4

3

3

2

2

1

1

D

A

Vista superior

Vista isométrica

Vista da seção A-A

Alojamento do rolamento dianteiro duplo

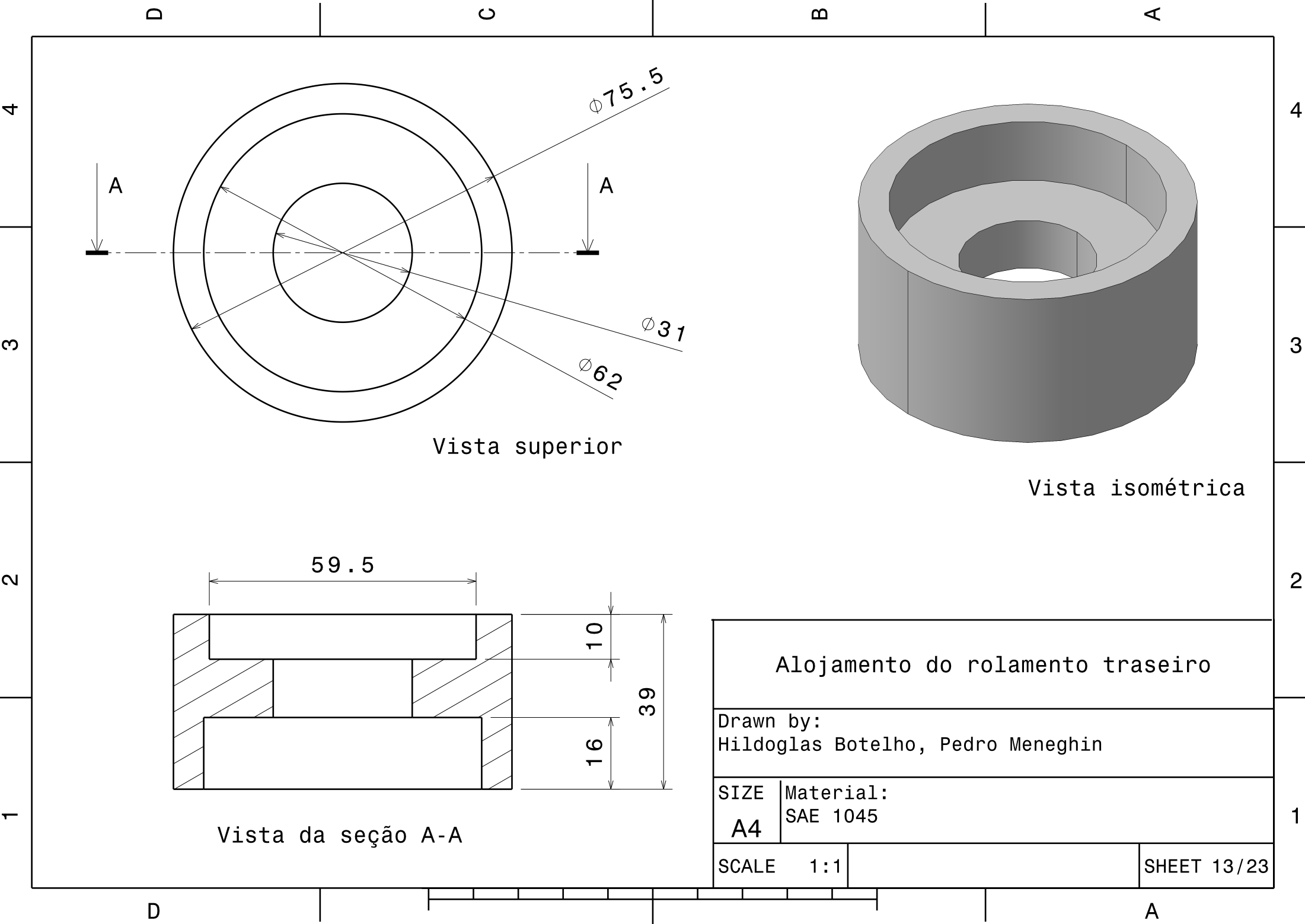
Drawn by:
Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin

SIZE
A4

Material:
SAE 1045

SCALE 1:1

SHEET 12/23

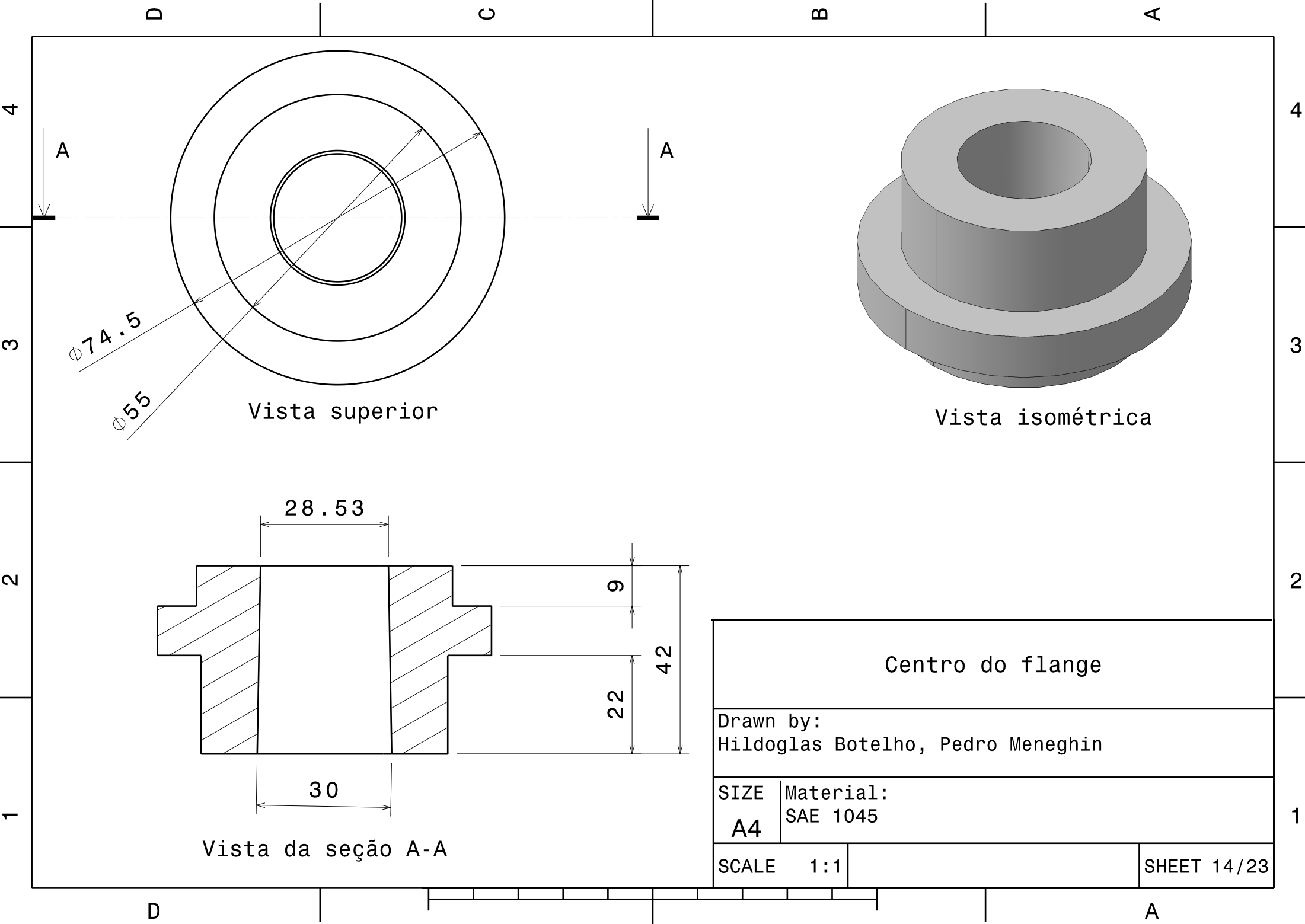


Vista superior

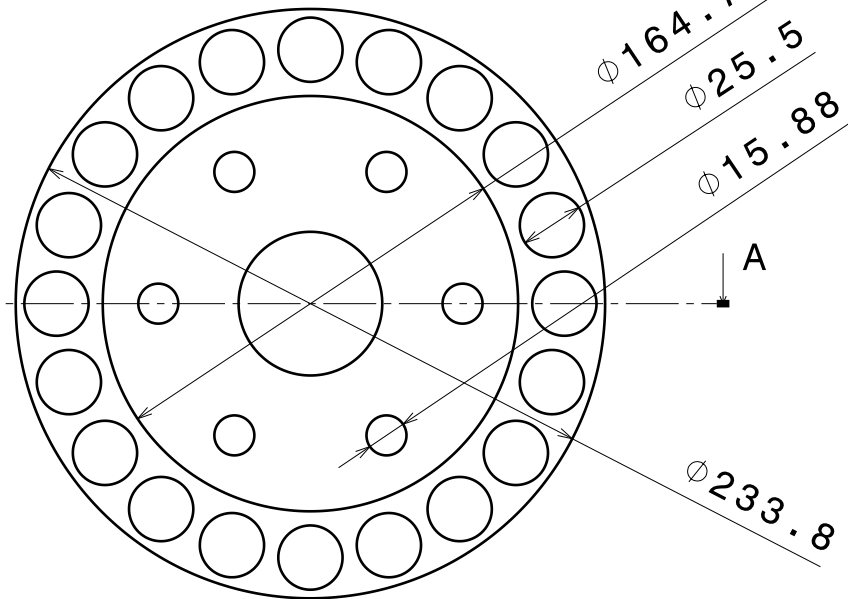
Vista isométrica

Vista da seção A-A

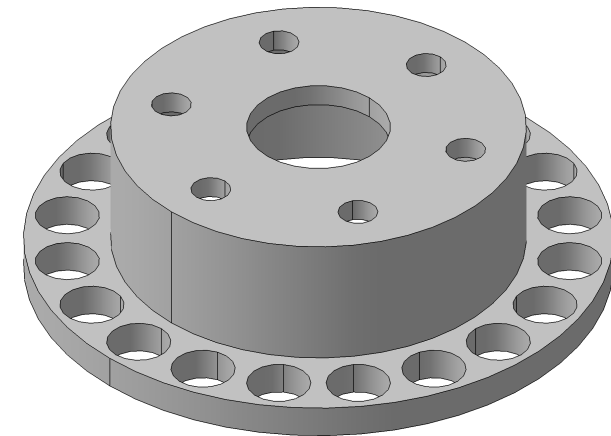
Alojamento do rolamento traseiro			
Drawn by: Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin			
SIZE A4	Material: SAE 1045		
SCALE	1:1		SHEET 13/23



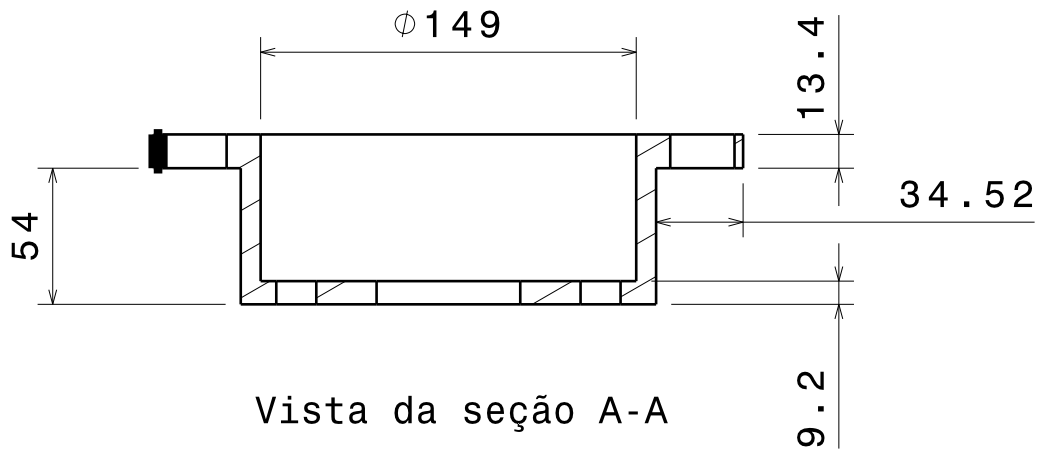
Centro do flange			
Drawn by: Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin			
SIZE A4	Material: SAE 1045		
SCALE	1:1		SHEET 14/23



Vista superior



Vista isométrica



Vista da seção A-A

Contra flange do rotor

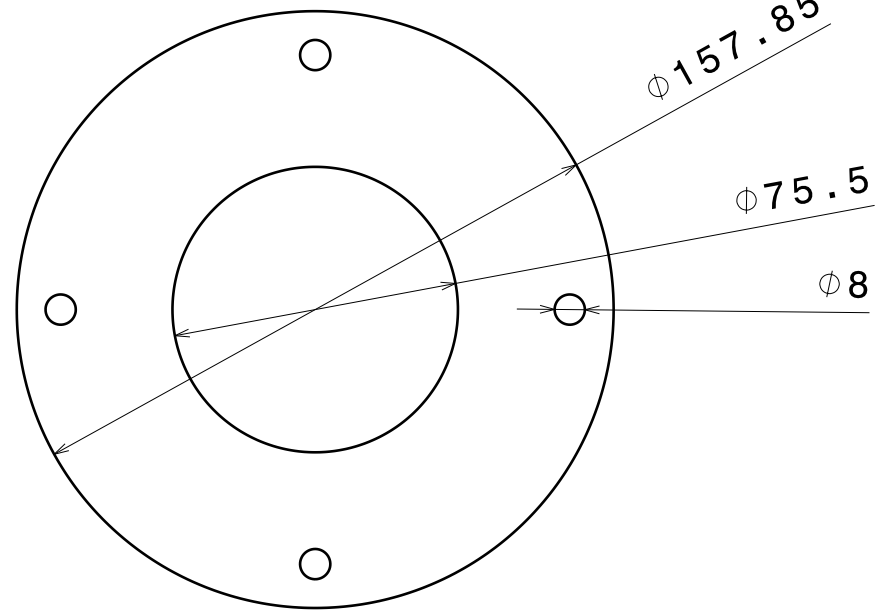
Drawn by:
Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin

SIZE
A4

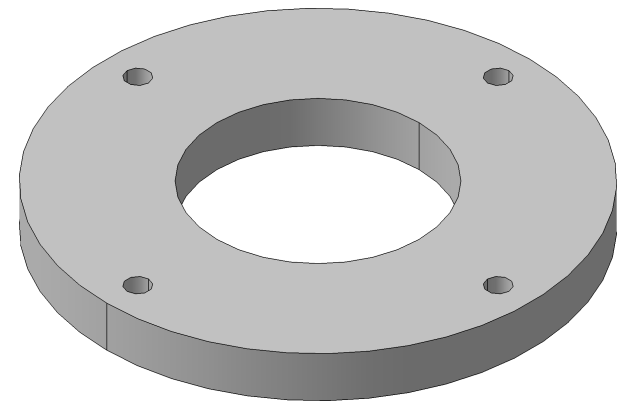
Material:
A 26

SCALE 1:3

SHEET 15/23



Vista superior

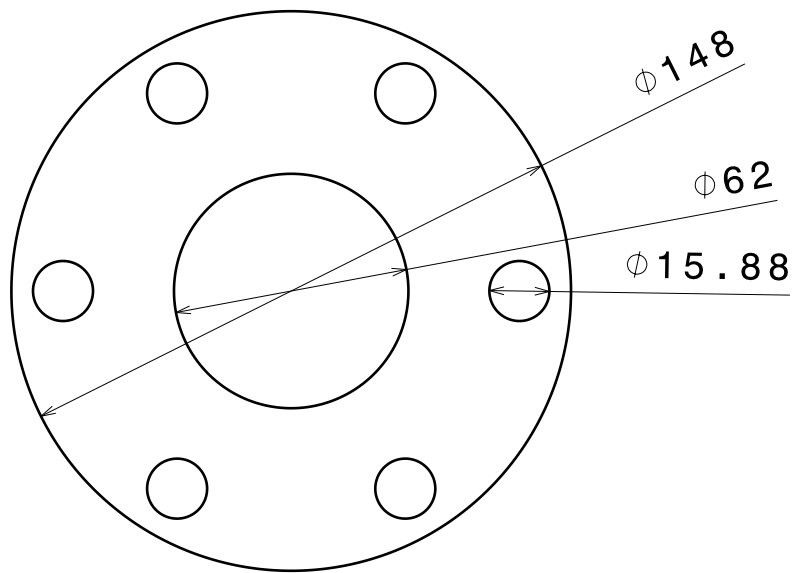


Vista isométrica

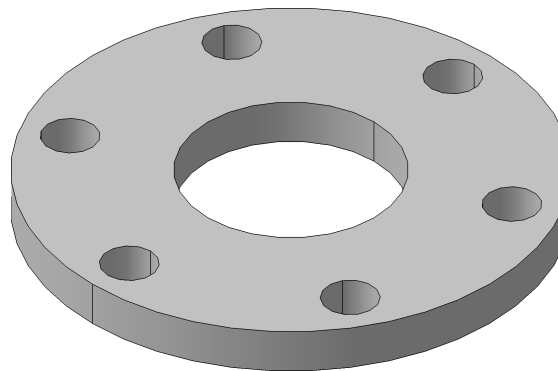


Vista lateral

Flange do gerador			
Drawn by: Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin			
SIZE A4	Material: SAE 1020		
SCALE	1:2		SHEET 16/23



Front view
Scale: 1:2

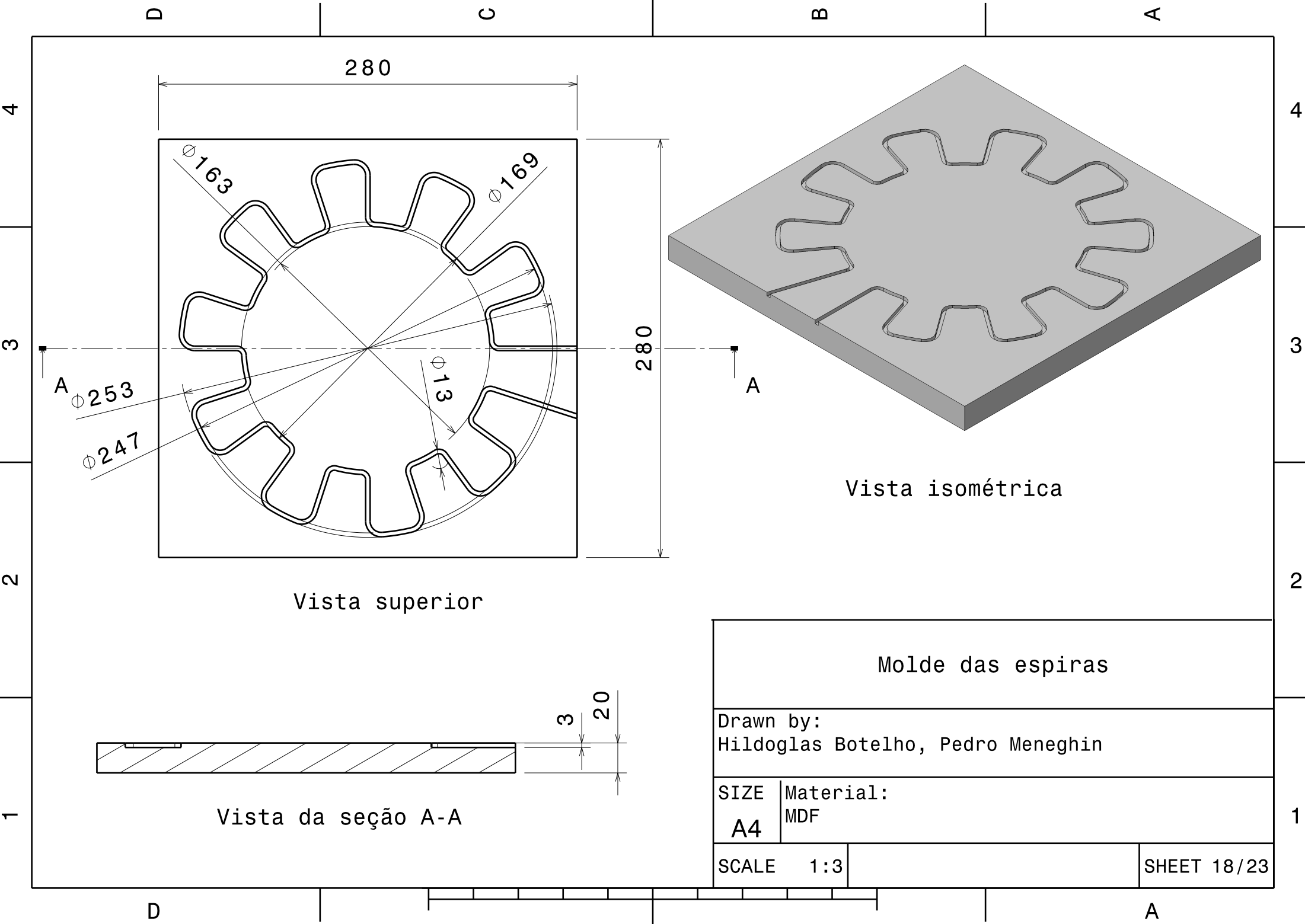


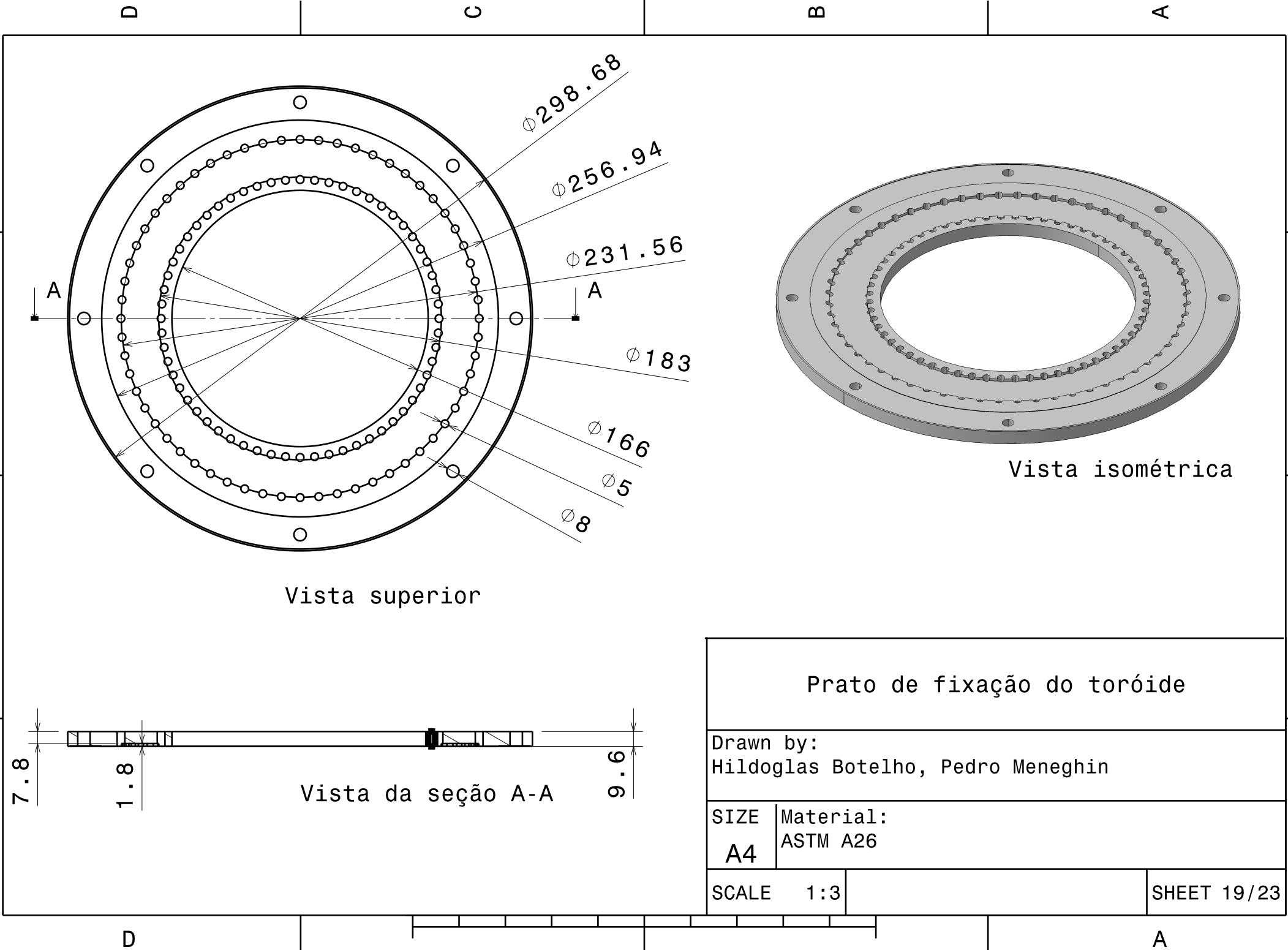
Isometric view
Scale: 1:2

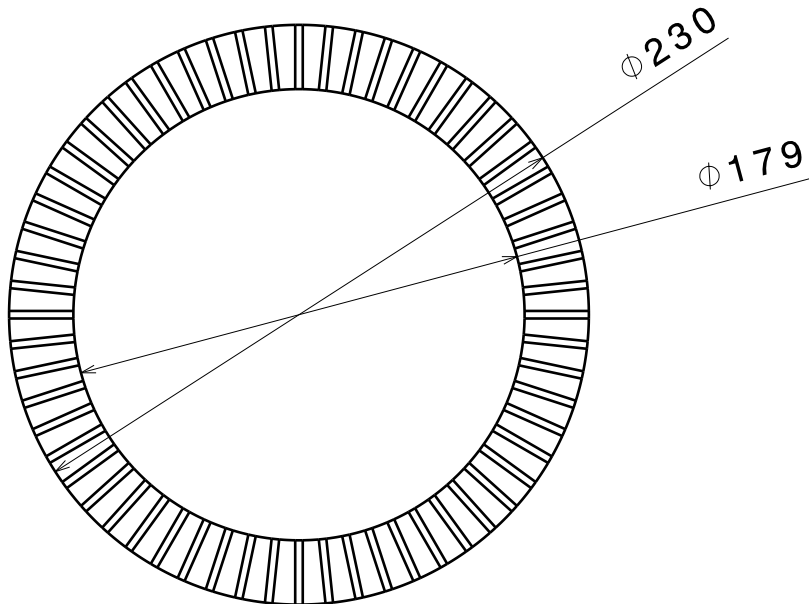


Top view
Scale: 1:2

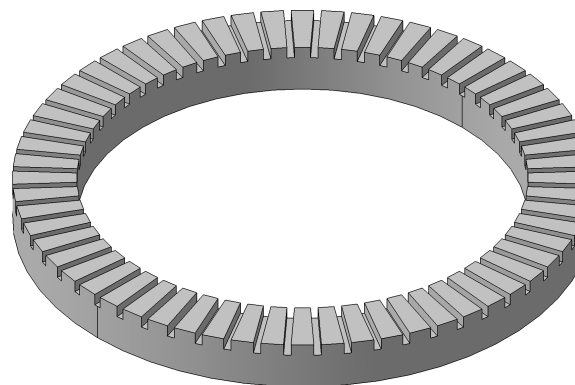
Flange do rotor			
Drawn by: Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin			
SIZE A4	Material: SAE 1020		
SCALE	1:2		SHEET 17/23



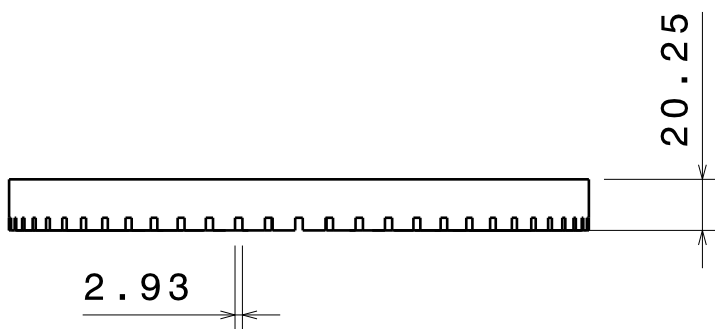




Vista superior



Vista isométrica



Vista lateral

Toróide

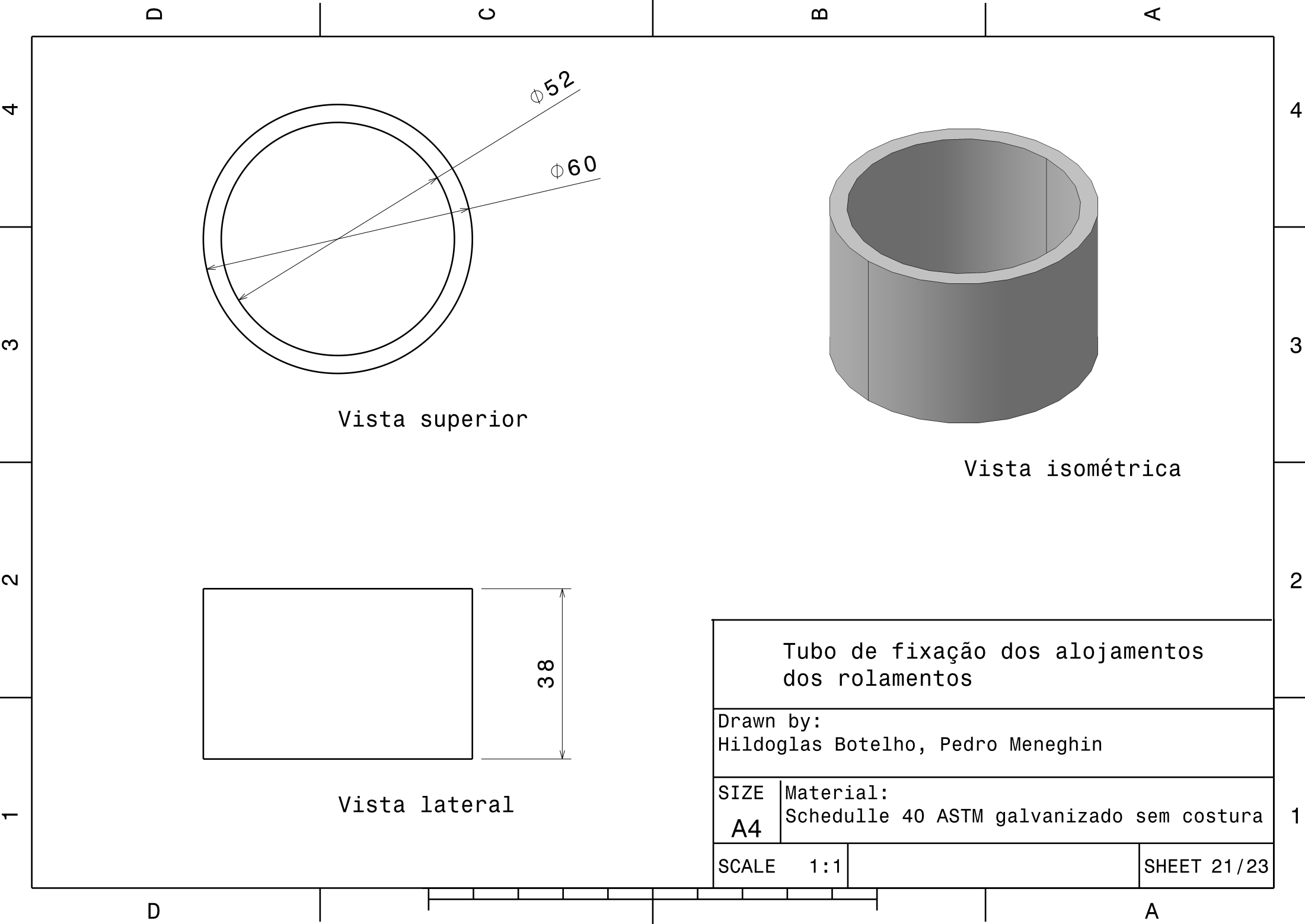
Drawn by:
Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin

SIZE
A4

Material:
Aço silício

SCALE 1:3

SHEET 20/23



D

C

B

A

4

4

3

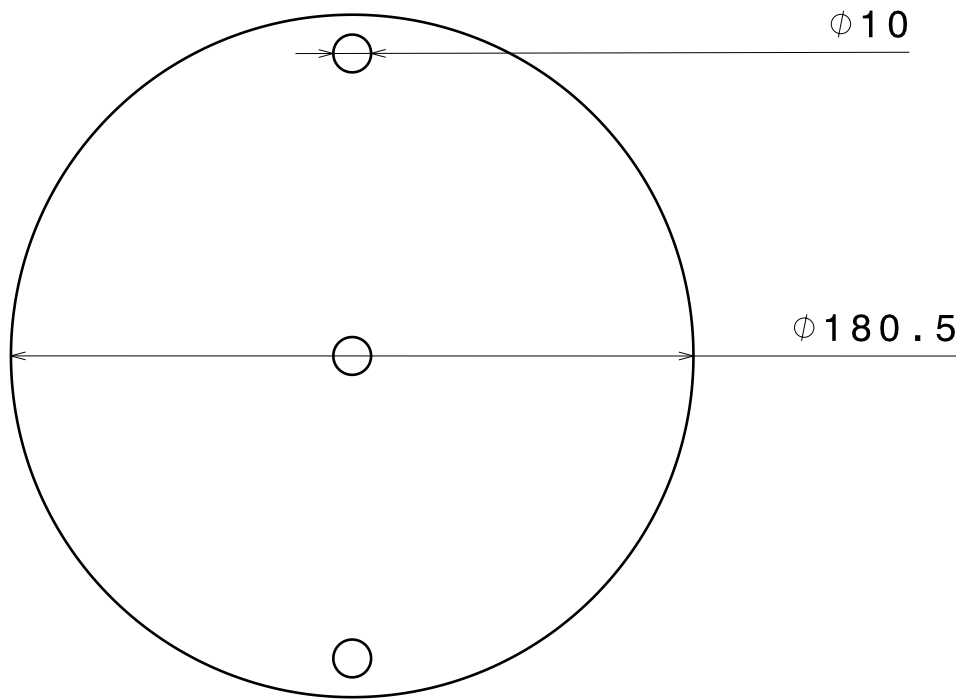
3

2

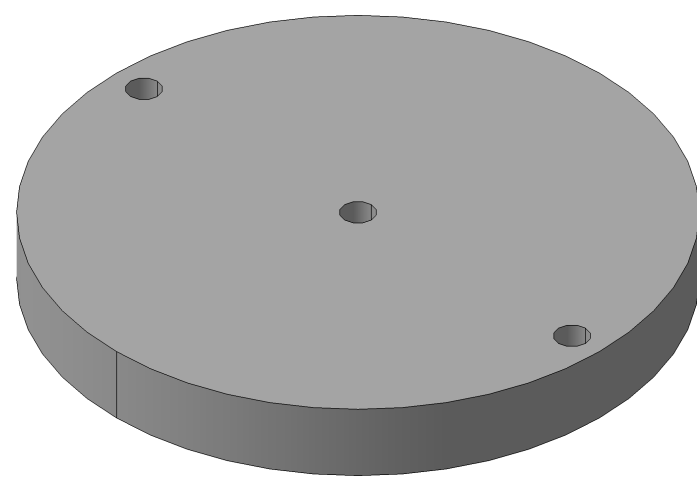
2

1

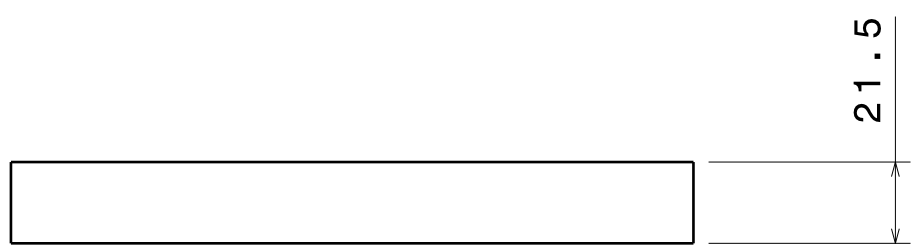
1



Vista superior



Vista isométrica

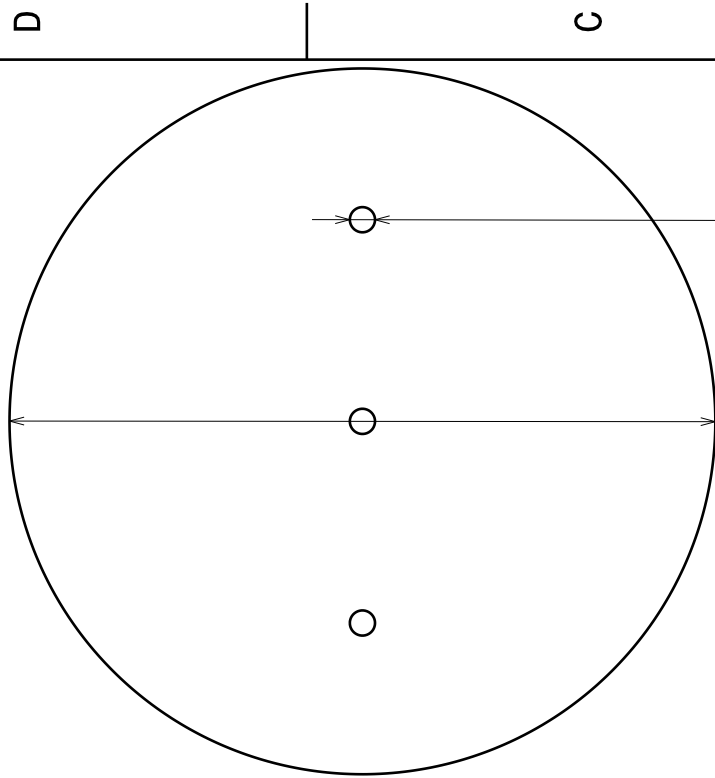


Vista lateral

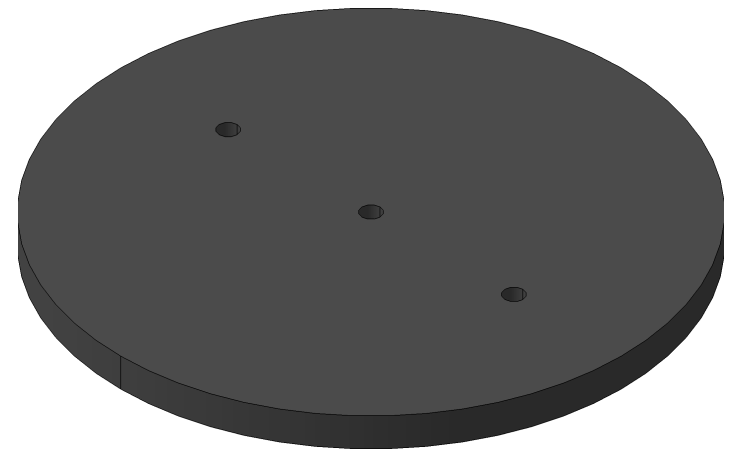
Parte interna do rolamento			
Drawn by: Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin			
SIZE A4	Material: MDF		
SCALE	1:2		SHEET 22/23

D

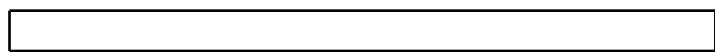
A



Vista superior



Vista isométrica



Vista lateral

Parte interna do carretel			
Drawn by: Hildoglas Botelho, Pedro Meneghin			
SIZE A4	Material: Compensado		
SCALE	1:2		SHEET 23/23